Aus der Abteilung für Mikromorphologie
(Leiter Professor Dr. med. dent. Hans Lenz) des Instituts für
Klinisch-theoretische Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde des
Fachbereiches für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
der Freien Universität Berlin

ELEKTRONENMIKROSKOPISCHE UNTERSUCHUNGEN AN MENSCHLICHEN ZÄHNEN MIT DIREKTER UND INDIREKTER ÜBERKAPPUNG

Inaugural-Dissertation
zur
Erlangung der zahnmedizinischen Doktorwürde
am Fachbereich Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
der Freien Universität Berlin

vorgelegt von
Zahnarzt Bernd Peter Wylutzki
aus Verden/Aller

1975

Aus der Abteilung für Mikromorphologie
(Leiter Professor Dr. med. dent. Hans Lenz) des Instituts für
Klinisch-theoretische Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde des
Fachbereiches für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
der Freien Universität Berlin

ELEKTRONENMIKROSKOPISCHE UNTERSUCHUNGEN AN MENSCHLICHEN ZÄHNEN MIT DIREKTER UND INDIREKTER ÜBERKAPPUNG

Inaugural-Dissertation
zur
Erlangung der zahnmedizinischen Doktorwürde
am Fachbereich Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
der Freien Universität Berlin

vorgelegt von
Zahnarzt Bernd Peter Wylutzki
aus Verden/Aller

Referent: Professor Dr. med. dent. Hans LENZ

Korreferent: Professor Dr. med. HANS-JOACHIM MERKER

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Gedruckt mit Genehmigung des Fachbereiches Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde der Freien Universität Berlin.

Promoviert am: 18. April 1975

Druck: Der Präsident der Freien Universität Berlin – Zentrale Universitätsdruckerei V aA 4, 1 Berlin 41

M E I N E N E L T E R N

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41547206_0080

INHALTSVERZEICHNIS

Seite

1. EINLEITUNG 1

2. LITERATURÜBERSICHT 4
   2.1. Methoden zur Erhaltung der Vitalität der Pulpa 4
   2.1.1. Die indirekte Überkappung 4
   2.1.2. Die direkte Überkappung 6
   2.2. Reaktionen der Pulpa nach Anwendung von Calxyl bei indirekter und direkter Überkappung 10

3. MATERIAL UND METHODE 14
   3.1. Material 14
   3.2. Methode 14
   3.2.1. Indirekte Überkappung 14
   3.2.2. Direkte Überkappung 15
   3.2.3. Glutaraldehyd-Osmium-Fixierung und Einbettung 16
   3.2.4. Das doppelte Einbettungsverfahren 17
   3.2.5. Herstellung der Ultradünnschnitte 18
   3.2.6. Nachkontrastierung 19

4. ERGEBNISSE 21
   4.1. Direkte Überkappung 21
   4.1.1. Lichtoptische Befunde der Dünnschliffe . 21
   4.1.2. Elektronenmikroskopische Befunde im primären Dentin 22
   4.1.3. Elektronenmikroskopische Befunde in der Dentinbrücke 23

Seite

4.2. Indirekte Überkappung 26
4.2.1. Lichtoptische Befunde der Dünnschliffe 26
4.2.2. Elektronenmikroskopische Befunde in der durch Karies veränderten primären Dentinschicht am Kavitätenboden 27
4.2.3. Elektronenmikroskopische Befunde aus dem Grenzbereich von Dentin und Pulpa . 27
4.3. Abbildungen 30

5. DISKUSSION 50
5.1. Direkte Überkappung 51
5.2. Indirekte Überkappung 56

6. ZUSAMMENFASSUNG 60

7. LITERATURVERZEICHNIS 63

1. EINLEITUNG

In den letzten Jahrzehnten ist immer wieder der Versuch unternommen worden, die Reaktionen der Pulpa auf die verschiedensten Reize hin, seien sie endogener oder exogener Art, zu untersuchen. Besonderes Interesse erfuhren dabei die einzelnen Überkappungsmethoden und ihre Wirkungen auf die Pulpa; denn man suchte nach Mitteln und Wegen, die durch die kariöse Noxe vorgeschädigte oder zufällig eröffnete Pulpa von einer Entzündung frei zu halten. Wegen ihrer speziellen Anatomie führt die Entzündung der Pulpa im Gegensatz zu anderen Organen häufig zu einer irreversiblen Schädigung, die schnell zur Nekrose des Zahnmarks führen kann. Bei vielen Arbeiten dieser Thematik wurde jedoch nicht genügend berücksichtigt, daß das Alter und der Gesundheitszustand der Pulpa vor der Reizeinwirkung ein entscheidender Faktor bei der zu erwartenden Reaktion ist. PETILLIOT (1971) legte dar, daß bei Nichtbeachtung dieser Gegebenheiten die Untersuchungsergebnisse stark beeinflußt sein können. Er weist darauf hin, daß die Antwortskala der Pulpa auf die verschiedenen Reize in ihrer Abstufung immer gleich sei. Das heißt, entsprechend der Intensität des Reizes und der Reaktionslage des Organismus sind Reaktionen, von der Veränderung an den Odontoblasten, Gefäßerweiterung und regressive Vorgänge, bis hin zur Gewebseinschmelzung möglich. Ein Reiz kann aber erst den Stufenweg dieser Reaktionen auslösen, wenn ein bestimmter Schwellenwert überschritten ist (LETTERER, 1959). Dann aber erfolgt der Entzündungsbeginn äußerst rasch, oft "explosionsartig" (LINDNER, 1966) und führt zu den von RICKER (1966) beschriebenen Kreislaufstörungen, wie fluxionale Hyper-

ämie, Ischiämie und statischer Hyperämie.

Neben dieser rein morphologischen Betrachtungsweise finden sich Autoren, die das Problem des Entzündungsgeschehens mehr vom physikalisch-chemischen Standpunkt betrachten (FRIMMER, 1968) und damit die Reaktionen der Entzündung zu erklären versuchen. MENKIN (Zit. n. FRIMMER) zweifelte die bisherige Anschauung, die Entzündung sei eine nützliche Abwehrmaßnahme des Organismus dahingehend an, daß oft die Schäden der Entzündungsreaktion größer seien, als die der auslösenden Ursache. Er fand, daß in entzündlichen Ergüssen chemische Substanzen vorkommen, die,gesunden Tieren örtlich injiziert, entzündungsähnliche Reaktionen hervorrufen. Diese sogenannten Entzündungsmediatoren sind physiologische Zellbestandteile, wie z. B. Histamine, die bei jeder Gewebsschädigung vermehrt freigesetzt werden und den Ablauf der Entzündung lenken (STEIN, 1966).

Aus Beobachtungen und der Kenntnis der Ursachen für bestimmte Reaktionsweisen der Pulpa auf Reizeinwirkungen resultieren die vielfältigen therapeutischen Versuche in Praxis und Wissenschaft, geeignete Verfahren zu entwickeln, die schädigenden Faktoren zu beseitigen, die Reizleitung zu mindern und somit Voraussetzungen zu schaffen, unter denen sich pathologische Veränderungen zurückbilden oder gar nicht erst auftreten.

Da sich die Veränderungen in Dentin und Pulpa vorwiegend an Strukturen abspielen, die an der Grenze des lichtmikroskopischen Auflösungsvermögens liegen, ist es verständlich, daß bei den bisherigen lichtoptischen Untersuchungen die Ergebnisse erheblich voneiander abweichen.

Besonders deutlich wird dies bei Durchsicht der vielfältigen Literatur; denn hinsichtlich der Definitionen, Methoden und Pulpenreaktionen bestehen die unterschiedlichsten Auffassungen, oder es herrscht zum Teil noch völlige Unklarheit.

Deshalb war es Sinn und Zweck dieser Arbeit, die Ultrastrukturen im Grenzbereich zwischen Dentin und Pulpa nach direkter und indirekter Überkappung darzustellen, um daraus zu neuen Deutungen zu gelangen und bisher nicht erklärbare Vorgänge aufzuhellen.

2. LITERATURÜBERSICHT

2.1. Methoden zur Erhaltung der Vitalität der Pulpa

2.1.1. Die indirekte Überkappung

Seit ungefähr hundert Jahren befaßt sich die zahnärztliche Literatur mit den Problemen einer Behandlung der erkrankten Pulpa. So war es 1861 ZUR NEDDEN, der sich gegen die therapeutische Zerstörung des Zahnmarks (Devitalisation) wendet und die Bedeutung der Vitalerhaltung der Pulpa hervorhebt. Bei tief kariösen Zähnen mit irritierter Pulpa empfiehlt er bei Entfernung der erweichten Kariesmassen, die Dentinschicht, welche die Pulpahöhle deckt, bestehen zu lassen und mit kohlensaurem Natron zu neutralisieren. Eine weitere Desinfektion mit "Kölnisch Wasser" für die nächsten Tage soll die Fäulnis hemmen.

Fünfundzwanzig Jahre später tritt auch WITZEL (1886) für eine Vitalerhaltung des Zahnmarks ein und prägt den Ausdruck "indirekte Überkappung". Er versteht darunter die spezielle Versorgung einer tiefen Kavität, bei der es sich zum Zwecke der Vitalerhaltung der irritierten Pulpa empfiehlt, "eine dünne Schickt erweichten, gegen Sondendruck empfindlichen Zahnbeins sitzen zu lassen".

Diese erste Definition und Indikation kann auch heute noch als gültig angesehen werden, wenn sich auch in späterer Zeit immer wieder Autoren finden, die vor dem Belassen kariös veränderten Dentins am Kavitätenboden warnen (SCHILD, 1898; BLACK, 1914; KRAUS, 1934; CASTAGNOLA, 1953; PRITZ, 1970) und nur dann von einer indirekten

Überkappung sprechen, wenn der pulpennahe Kavitätenboden erst nach Entfernung allen erweichten und verfärbten Dentins von einer schützenden Füllung versorgt wird (PRITZ, 1970). Die für die indirekte Überkappung verwendeten Mittel bezogen sich anfangs nur auf die Desinfektion der Kavität. Man suchte nach Medikamenten, die ein Wachstum der Bakterien verhindern und somit die Pulpa von schädigenden Reizen freihalten sollten.

WITZEL (1886) empfiehlt, das erweichte Dentin mit Sublimatspiritus mehrmals zu durchtränken und mit einer Sublimat-Morphium-Zementpaste abzudecken. Auf diese Paste bringt er - mit der konkaven Seite zur Pulpa - ein gebogenes Metallplättchen und legt darauf direkt die Füllung.

Andere Autoren empfehlen eine Desinfektion mit Karbol und Eugenol oder versuchen, eine Reizausschaltung durch Imprägnierung des kariösen Dentins mit Silbernitrat oder Kieselsäure zu erreichen.

Von ESCHER (1908) wurde erstmals das Zinkoxid-Eugenol für die indirekte Überkappung verwendet. DÄTWYLER (1921), PLATHNER (1952), ENGEL (1963) und WANNENMACHER (1969) heben besonders seine gute Verträglichkeit für das erkrankte Zahnmark hervor. Dagegen warnen MÜLLER (1948) und KOCH (1953) vor einer Verwendung dieses Medikamentes in Pulpennähe, da es eine ätzende Wirkung habe.

Das von HERMANN (1920) angegebene Kalziumhydroxidpräparat "Calxyl" soll die Nachteile des Zinkoxid-Eugenols nicht besitzen. HERMANN behauptet 1936, daß seinem Medikament "nicht die geringste Spur einer ätzenden oder sonst irgendwie reizenden Wirkung innewohnt" und empfiehlt, es

möglichst unter jede Füllung zu applizieren. Wenn ihm auch in diesem Punkte von vielen Autoren widersprochen wird (SAUERWEIN, 1951; CASTAGNOLA , 1953), so haben dieses und ähnliche Kalziumhydroxidpräparate, wie Reogan und Dycal, als Wundverband auch über dem pulpennahen Dentin eine weite Verbreitung gefunden.

2.1.2. Die direkte Überkappung

Unter der direkten Überkappung verstehen wir ein schon 1756 von PFAFF erprobtes Verfahren, die Vitalität einer freiliegenden Pulpa durch Bedeckung mit geeigneten Materialien zu erhalten. Anfänglich wurden kleine Kappen aus Gold, Silber, Blei, Horn und Elfenbein verwendet, die zumeist mit der konkaven Seite auf den Defekt gelegt wurden und so zu einer Druckentlastung des freiliegenden Zahnmarks unter der permanenten oder temporären Füllung beitragen sollten.

Spätere Versuche wurden analog der indirekten Überkappung mit den verschiedensten Desinfizientien, wie Karbolsäure, Sublimat, Thymol, Formaldehydderivaten und Jodoform unternommen. Über die Erfolge dieser frühen Behandlungsmethoden werden nur spärliche Berichte gegeben, jedoch kann aus der Vielzahl der verwendeten Mittel geschlossen werden, daß ein geeignetes Präparat nicht gefunden wurde.

Zur Verbesserung der bisherigen Ergebnisse empfehlen einige Autoren eine genaue Diagnosestellung des Pulpenzustandes und Einschränkung der Indikationsbreite bei der direkten Überkappung auf gesunde oder nur leicht irritierte

Pulpen. Dennoch muß die Mißerfolgsquote sehr groß gewesen sein, da einstige Verfechter später zu Gegnern der Vitalerhaltung erkrankter und eröffneter Pulpen wurden (WITZEL, 1874 - 1902; SCHEFF, 1882).

Nach DÄTWYLER (1921), der mehrere Überkappungsmethoden verglich und histologische Nachuntersuchungen anstellte, brachte die von SZABO (1902) angegebene Methode der Ignipunktur und die Überkappung mit Zinkoxid-Eugenol (HENTZE, 1907) die besten Resultate.

SCHUHMACHER (1930), GLASS und ZANDER (1949) und CASTAGNOLA (1953) warnen dagegen vor einer direkten Anwendung des Eugenols auf die Pulpa, da eine Hartsubstanzbildung ausbliebe und das Zahnmark gereizt werde. DÄTWYLER, der bei seinen Untersuchungen Hartsubstanzbildungen vorgefunden hat, schreibt diese mehr den zufällig in die Pulpa gelangten Dentinsplittern zu, als der Wirkung des Zinkoxid-Eugenols. Diese Erkenntnis machte man sich bei der Herstellung von Überkappungspasten zunutze, denen zur Anregung der Hartsubstanzbildung Dentin- und Elfenbeinsplitter beigemengt wurden.

Etwa zur gleichen Zeit berichtet HERMANN in vielen Veröffentlichungen von guten Erfolgen bei der direkten Überkappung mit Calxyl, einem von ihm erstmals verwendeten Kalziumhydroxidpräparat. Er bescheinigt diesem bakterizid wirkenden Medikament eine besondere Gewebefreundlichkeit und hebt dies als Vorteil gegenüber den früheren desinfektorisch wirkenden Überkappungsmitteln hervor. HERMANN bringt das Kalziumhydroxid mit einem Löffelexkavator in die Kavität, saugt die Feuchtigkeit mit einem sterilen Wattebausch auf und deckt die Wunde zur Vermeidung jeg-

licher Kontusion - eine seiner Hauptforderungen bei der Pulpabehandlung - mit einer Metallkappe ab. Erst dann wird die Füllung gelegt. Wenn auch heutzutage keine Metallkappen verwendet werden, sondern das Calxyl drucklos mit Phosphatzement (KETTERL, 1972) überschichtet wird, so hat sich diese Methode im Grundsatz allgemein durchgesetzt. Es wurden zwar weitere auf Kalziumhydroxidbasis beruhende Kombinationspräparate entwickelt (Novismal, Regeneran, Calcipulpe, Reogan, Dycal u. a.), doch ist man meist wieder zum reinen Calxyl zurückgekehrt. HOEFIG (1971) empfiehlt sogar, vor jedem Gebrauch stets frisches Kalziumhydroxid aus gebranntem Kalk (CaO) und Wasser herzustellen.

Zur Frage der Indikation für die direkte Überkappung mit Calxyl herrscht in der Literatur die Auffassung vor, daß nur eine klinisch gesunde, artifiziell im nicht kariösen Dentin eröffnete Pulpa nach dieser Methode behandelt werden sollte. TSCHAMER (1967) hebt in diesem Zusammenhang die Bedeutung einer möglichst genauen Diagnose des Pulpenzustandes hervor und betont, daß durch involutorische Veränderungen im Alter mit einer Abnahme der Regenerationskraft der Pulpa gerechnet werden muß. Auch HARNDT, R.(1962) konnte nachweisen, daß mit zunehmendem Alter die Erfolgsaussichten einer direkten Überkappung sinken.

An Versuchen, die Indikationsstellung des Calxyls auch auf entzündlich erkrankte Pulpen zu erweitern, hat es zwar nie gefehlt (PAJAROLA, 1940; RUCKTESCHLER und WINTER, 1950; LÖRENCZY-LANDGRAF, 1959), doch erst die Einführung der Glukokortikoide in die Endodontie durch KIRYATI (1958) und SCHRÖDER und TRIADAN (1962) schien die gestellten Erwartungen zu erfüllen. Sie konnten nachweisen, daß durch Beimengen von Kortikoiden zum Calxyl die Heilungsaussichten bei

der Pulpabehandlung von 50 % auf 66 % gesteigert wurden und eine temporäre antiphlogistische Beeinflussung des Pulpagewebes dessen dentinogetische Aktion unter $Ca(OH)_2$ sogar begünstigte (SCHRÖDER, 1966). Von WAECHTER (1964), BAUME (1965), KETTERL (1972) u. a. wurden indessen starke Bedenken gegen die Anwendung von Kortikoiden geäußert, da eine Hartsubstanzbildung ausbliebe und das Zahnmark langsam unter chronischen Restpulpitiden zugrunde ginge. Sie befürworteten das Mittel allenfalls zur Schmerzbeseitigung akuter Entzündungen der Pulpa, wenn eine anschliessende Wurzelkanalbehandlung geplant sei.

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß sich von allen Überkappungsmitteln nur das Kalziumhydroxid allgemein durchgesetzt hat, obwohl die Gründe für seine weite Verbreitung weniger wissenschaftlicher Art, sondern eher seinen Erfolgen bei der Pulpabehandlung zugeschrieben werden. Da auch für die vorliegenden Untersuchungen ein Kalziumhydroxidpräparat verwendet wurde, soll im Folgenden nicht näher auf die anderen zuvor beschriebenen Präparate eingegangen werden.

2.2. Reaktionen der Pulpa nach Anwendung von Calxyl bei indirekter und direkter Überkappung

Über den genauen Wirkungsmechanismus des Calxyls bestehen auch heute noch unterschiedliche Auffassungen. HERMANN (1936) hob neben der hohen desinfektorischen Kraft den physiologischen Charakter des Calxyls hervor, "der auf dem plasmatischen Wege durch die Dentinwand hindurch auf die Pulpa seine rein biologische Wirkung entfaltet. Dadurch, daß es in der Lage ist, jeder Säuerung der Pulpa schon durch seine Anwesenheit zu steuern und diese in eine Alkalose zu verwandeln, verhütet es auch ein Auftreten oder ein Sichausbreiten der leisesten Entzündungserscheinungen. Durch Anreicherung der Gewebssäfte mit Calciumhydroxylionen aber liefert es gleichzeitig den reinen Baustoff zur Hartgewebebildung und reizt dadurch allein schon zur Neubildung an."

Die von HERMANN beschriebene bakterizide Wirkung des Kalziumhydroxids wird von kaum einem Autor bestritten, jedoch soll der Effekt schon durch geringe Verdünnung verloren gehen (MAIZUMI und SAUERWEIN, 1962). FLOHR (1936), ROTH (1940), DAUSCH und SAUERWEIN (1952) u. a. betonen aber, daß die Bezeichnung "biologisch" für die Kalziumhydroxidwirkung unangebracht sei, da sie bei ihren Versuchen tiefgreifende Ätzwirkungen feststellen konnten.

Infolge der hohen Alkalinität des Calxyls (PH 12,4) bildet sich bei der direkten Überkappung eine oberflächliche Kolliquationsnekrose des Pulpengewebes mit scharfer Demarkation gegen das vitale Gewebe aus. Durch freie Hydroxyl-Ionen tritt eine Neutralisation der entzündlichen Azidose in der Pulpa ein (DAUSCH und SAUERWEIN, 1952; PLATHNER, 1952;

SVJEDA, 1968; TRIADAN, 1970; SAUERWEIN,1970; KETTERL,1972).

CASTAGNOLA (1953) wertet die oberflächliche Verätzung des Zahnmarks als einen Schaden, der schließlich in einen Vorteil mündet; denn die Pulpa kann nun bei günstiger Reaktionslage, abgeschirmt von äußeren Reizen, in eine Heilungsphase treten. MÜNCH und KLUCZKA (1966) beschreiben in Anlehnung an CASTAGNOLA dabei drei Arten von Reaktionen:

1. eine hochwertige Reparation (Dentin)
2. eine kalkige Abgrenzung
3. eine bindegewebige Abgrenzung.

Von Heilung im Sinne einer restitutio ad integrum wird in der Literatur jedoch grundsätzlich nur nach Reparation durch kanalisiertes Dentin gesprochen. Als bedingter Erfolg der Überkappung wird aber auch jeglicher hartgeweblicher Verschluß der Pulpa gewertet (ARNOLD, 1965).

Den ersten Schritt auf dem Wege der Heilung stellt die Ausbildung eines faserreichen Narbengewebes dar (FRANKE, 1955; SAUERWEIN, 1970; KETTERL, 1972). KLUCZKA (1966) bezeichnet diese Form als "schwächste" Reaktionsleistung der Pulpa und hält sie für am wenigsten erstrebenswert.

Der zweite Schritt wird durch die Verkalkung des über dem Narbengewebe liegenden "nekrobiotischen Gebietes" eingeleitet.

Im günstigsten Falle werden sich jedoch aus normalen Pulpazellen sekundäre Odontoblasten differenzieren, die zu einer mehr oder weniger hochwertigen Hartsubstanzbildung beitragen. Ob das Kalziumhydroxid aber den von HERMANN angenommenen Einfluß auf die Hartsubstanzbildung der Pulpa hat, ist noch immer umstritten.

HESS (1960), PANTKE (1969) und SAUERWEIN (1970) sind zusammen mit HERMANN der Meinung, daß das Calxyl bei der indirekten Überkappung nach Diffusion durch die Dentinkanälchen eine Abtötung etwaiger in den tieferen Dentinschichten vorhandener Bakterien, eine Neutralisation der Kariessäuren sowie der entzündlichen Gewebsazidose bewirke. TRIADAN (1970) weist ebenfalls darauf hin, daß das $Ca(OH)_2$ die Dentinogenese in unerreichter Weise anrege, betont aber, daß das zur Verkalkung benutzte Ca nicht aus dem lokalen Angebot stamme, sondern aus dem Blute.

BHASKAR, CUTRIGHT und OSDEL (Zit. n. FISCHER, 1972) vertreten dagegen die Ansicht, daß das Kalziumhydroxid als Kristallisationszentrum für Kalkablagerungen diene. FISCHER (1972) beobachtete ebenfalls Hartsubstanzbildungen im Umkreis von hornperlenartigen, zwiebelschalenförmigen Mineralisationszentren mit dem Lichtmikroskop.

MÜNCH und KLUCZKA (1966) führen die Ausbildung von Kristallisationszentren auf zufällig während der Behandlung in die Pulpa gelangte Dentinsplitter zurück. Die Tatsache an sich, daß die Verkalkung von Kristallisationskeimen ausgeht, wird aufgrund elektronenmikroskopischer Untersuchungen von FRANK und NALBANDIAN (1963) bestätigt. Sie wiesen aber nach, daß ihre Größe im ultrastrukturellen Bereich liegt. Nach biochemischen Untersuchungen von WEIDMANN(1963) können aber ebenso Kollagen selbst, Chondroitinsulfat oder Phosphatidbindungen als Kristallkernbildner wirken.

ARNOLD (1970) äußert sich gegenüber der dem Calxyl zugeschriebenen Stimulierung der sekundären Hartgewebsbildung eher skeptisch und sieht dessen Bedeutung nur auf der Ebene der Oberflächenverschorfung und Herstellung eines Wund-

verbands. FISCHER (1972) und CLARKE (1970) sind der Meinung, daß reparative Hartsubstanzbildungen auch ohne Anwesenheit von Kalziumhydroxid möglich sind. Sie weisen auf E. HARNDT'S (1960) Versuche am zweijährigen Hund hin, bei dem die Pulpen mehrerer Zähne freigelegt und ohne besondere Versorgung sich selbst überlassen wurden. HARNDT konnte feststellen, daß es durch die Reizeinwirkung allein schon zu einer "körpereignen" Hartgewebsfüllung des Wurzelkanals kam.

Betrachtet man sich die Verhältnisse in der kariösen Schicht, ergeben sich tatsächlich Zweifel, ob die bei der indirekten Überkappung beschriebenen Erfolge ausschließlich dem Verdienst des Calxyls zuzuschreiben sind; denn elektronenmikroskopische Untersuchungen am kariösen Dentin (LENZ, 1955; KRÄLING, 1973) haben gezeigt, daß die Dentinkanäle fast immer obliteriert sind und so die Wirkung des Calxyls nur eine desinfektorische sein kann.

Eine echte Dentinbildung erscheint jedoch bei der direkten Überkappung durchaus im Bereich des möglichen zu liegen. Jedoch sind die neuen Hartsubstanzen im Lichtmikroskop - außer Dentinkanälchen - kaum näher zu differenzieren und erscheinen als Sekundärdentinstruktur.

Bei Arbeiten in der Literatur wird die Pulpa unter kariösen Defekten (KETTERL, 1964) als stark verändert beschrieben, von der vakuoligen Degeneration der Odontoblasten bis zur Atrophie der gesamten Pulpa. Es erhebt sich die Frage, ob eine derartig veränderte Pulpa trotz der Einwirkung von Calxyl überhaupt in der Lage ist, Hartsubstanzen zu bilden. Elektronenmikroskopische Untersuchungen dürften auch hier Auskunft über Art und Lage der gebildeten Hartsubstanz geben.

3. MATERIAL UND METHODE

3.1. Material

Als Untersuchungsmaterial dienten Zähne, die ein halbes Jahr nach klinisch erfolgreichem Verlauf einer direkten bzw. indirekten Überkappung extrahiert wurden.

Im Falle der indirekten Überkappung handelte es sich um einen oberen rechten Weisheitszahn, der der 38 jährigen Patientin zuvor leichte Schmerzen bereitet hatte. Der Zahn wies eine weitreichende okklusale Karies auf, reagierte aber auf die CO_2-Probe positiv und war nicht perkussionsempfindlich.

Ein kariesfreier erster oberer Prämolar eines elfjährigen Jungen, der aus kieferorthopädischen Gründen extrahiert werden sollte, konnte nach Einwilligung des Patienten für die Durchführung einer direkten Überkappung verwendet werden.

3.2. Methode

3.2.1. Indirekte Überkappung

Nach Infiltrationsanästhesie mit einem Lidocainpräparat ohne Vasokonstringens wurde die Umrißform der Kavität mit dem Airotor unter ständiger Wasserkühlung dargestellt. Die kariös erweichten Dentinmassen konnten ohne Verletzung der Pulpa mit einem langsam rotierenden Rosenbohrer exkaviert

werden. Die Kavität wurde mit 3 %igem H_2O_2 ausgeschäumt und vorsichtig mit sterilen Wattepellets und dem Luftbläser getrocknet. Anschließend wurde das pulpennahe Dentin mit einer kleinen Menge Calxyl aus einem fabrikneuen Glas bedeckt und die gesamte Kavität mit zähflüssig angerührtem Phosphatzement überschichtet. Mehrmalige Sensibilitätsproben im Laufe der nächsten Monate zeugten von einer normalen Reaktion der Pulpa.

Nach einem halben Jahr wurde der positiv reagierende Zahn komplikationslos, wiederum nach Infiltrationsanästhesie ohne vasokonstrinktorische Zusätze, entfernt und der histologischen Untersuchung zugeführt.

3.2.2. Direkte Überkappung

Nach Infiltrationsanästhesie durch ein Lidocainpräparat mit Nor-Epinephrinzusatz erfolgte das Abtragen der okklusalen Schmelz- und Dentinschichten und eine deutliche Eröffnung der Pulpa mit dem Airotor. Dabei wurde sorgfältig auf eine ständige Wasserkühlung geachtet, um das Zahnmark nicht schon durch Hitzeeinwirkung zu schädigen. Die eintretende Blutung wurde mit 3 %igem H_2O_2 gestillt. Nach Trocknung der Kavität mit Wattepellets und kurzem Luftstrom erfolgten eine drucklose Applikation des Calxyls und ein Abschluß mit Phosphatzement.

Auch in diesem Fall fand die Extraktion des stets beschwerdefreien, sensiblen Zahnes nach einem halben Jahr unter Lokalanästhesie statt. Aufgrund der Untersuchungen von STANLY, WHITE und Mc CRAY (1966) über die Abhängigkeit der Tertiär-

dentinbildung von der Zeit, war eine reparative Dentinbildung genügenden Ausmaßes für die histologischen Untersuchungen dieser Strukturen zu erwarten.

3.2.3. Glutaraldehyd-Osmium-Fixierung und Einbettung

Sofort nach den Extraktionen wurden die Kronenteile der Zähne von den Wurzeln mit einer Nylonscheibe unter ständiger Wasserkühlung getrennt und bis zur weiteren Verarbeitung mehrere Tage in einem Kühlschrank in einer 5 %igen phosphatgepufferten Glutaraldehydlösung gelagert. Die weitere Fixierung und erste Einbettung in Mikropal erfolgte nach folgendem Plan:

a) Das mit Glutaraldehyd fixierte Präparat mit physiologischer NaCl-Lösung auswaschen und

b) in ein Phosphatpuffergemisch von pH 7,2 für mindestens 18 Stunden geben.

c) Weitere Fixierung in veronalazetatgepufferter isotonischer OsO_4-Lösung von pH 7,2 und

d) mit physiologischer NaCl-Lösung abspülen.

e) Entwässern:

5 Minuten in 50 %igem Alkohol
5 Minuten in 75 %igem Alkohol
5 Minuten in 95 %igem Alkohol
2 x 10 Minuten in absolutem Alkohol
1 x 30 Minuten in absolutem Alkohol
3 x 30 Minuten mit Styrol überspülen.

f) Präparate unter Zusatz von Katalysator und Aktivator in Mikropal-Styrol im Verhältnis 1:1 überführen. Nach einer Stunde

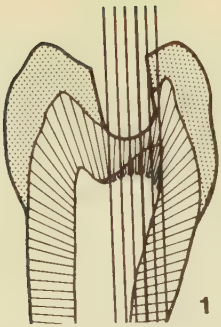
g) in Mikropal (+Katalysator, + Aktivator) überführen und 24 Stunden bei Zimmertemperatur lagern lassen.

h) Präparate in Eiswürfelkästchen legen und mit Mikropal (+ Katalysator, + Aktivator) überschichten.

i) Luft evakuieren und bei ca. 60° C im Trockenschrank 12 bis 36 Stunden polymerisieren.

3.2.4. Das doppelte Einbettungsverfahren

Zum Zwecke einer besseren Orientierung in den einzelnen Dentin- und Pulpenbereichen bei dem späteren Anspitzen der Präparate wurde ein doppeltes Einbettungsverfahren angewendet. Dafür mußten die Mikropalblöcke mit den unentkalkten Zähnen von einer rotierenden Schneidemaschine (Firma: Dr. STEEG und REUTER) unter laufender Wasserberieselung in Längsschnitte (Dicke: ca. 0,6 mm) zerlegt werden. Die Scheiben aus den in Abbildung 1 und 2 dargestellten Bereichen wurden unter dem Binokular auf ihre Verwendbarkeit geprüft und zur Dokumentation photographiert. Anschließend wurden sie mit einer Rasierklinge zurechtgeschnitten, aufrecht in Gelatinekapseln gestellt, mit Mikropal (+ Katalysator, + Aktivator) überschichtet und zur Vermeidung von Blasen fünfzehn Minuten evakuiert. Nach einer 24stündigen Polymerisation konnten die Gelatineschichten abgelöst und die Präparate in einen speziellen Halter gespannt werden.



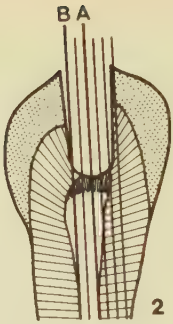


Abb. 1:
Indirekt überkappter Zahn. Darstellung des Bereichs, aus dem die untersuchten Dünnschnitte ausgewählt wurden.

Abb. 2:
Direkt überkappter Zahn. Schnitt A verläuft direkt durch die Dentinbrücke. Schnitt B erfaßt auch primäres Dentin.

3.2.5. Herstellung der Ultradünnschnitte

Für die Herstellung der Ultradünnschnitte wurden die Präparate mit Finierern und Rasierklingen so angespitzt, daß die zu untersuchenden Bereiche in der Spitze einer vierseitigen Pyramide lagen.

Im Falle der indirekten Überkappung (Abb. 3) wurden zuerst die mutmaßlich gesunden Dentinpartien am Rande der Kavität untersucht und später immer zentralere Bereiche, von Kavitätenboden bis hin zur Pulpa.

Im Falle der direkten Überkappung wurde bei einigen Schnitten (Abb. 4) ausgehend von der Calxylschicht bis hin zur Pulpa angespitzt, um das neugebildete Dentin in allen Be-

reichen darzustellen. An Schnitten, die nicht direkt durch die Dentinbrücke führten - in Abbildung 2 mit B gekennzeichnet - konnte auch das primäre Dentin untersucht werden (Abb. 5).

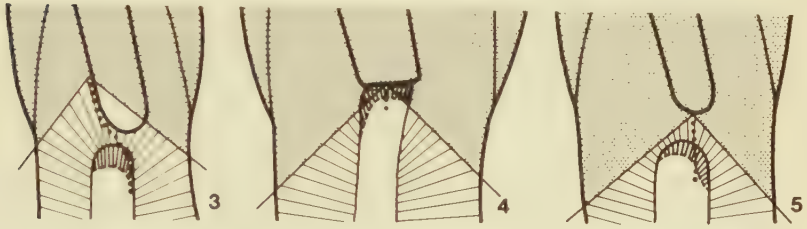


Abb. 3 - 5:
Die punktierte Linie zeigt die Lage der Pyramidenspitze im Verlauf der einzelnen Anspitzungen.

Von diesen Präparaten wurden mit Diamantmessern am Ultramikrotom (LKB ULTROTOME, Typ 4801) Dünnschnittserien von 600 - 700 Å Stärke hergestellt und nach Streckung mit Chloroformdämpfen in 20 %igem Alkohol mit formvarbefilmten Kupfernetzen von 3 mm Durchmesser aufgefangen.

Die elektronenmikroskopischen Untersuchungen wurden mit einem ELMISKOP IA der Firma SIEMENS & HALSKE AG bei einer Strahlenspannung von 80 kV durchgeführt.

3.2.6. Nachkontrastierung

Die hier beschriebenen histologischen Präparationsmethoden

eignen sich besonders gut zur Darstellung unentkalkter Hartsubstanzen. Organische Strukturen mußten jedoch zur besseren Differenzierung mit dem kollagenspezifischen Uranylazetat nachkontrastiert werden. Dazu wurden die Trägernetze für 30 Minuten mit der befilmten Seite nach unten auf Tropfen dieser Lösung gelegt und anschließend mit Aqua dest. abgespült.

4. ERGEBNISSE

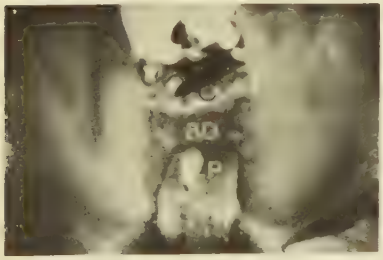
4.1. Direkte Überkappung

4.1.1. Lichtoptische Befunde der Dünnschliffe

Aufgrund des stets positiven Ausfalls aller Sensibilitätsproben und allgemeiner Beschwerdefreiheit des Patienten wurde die direkte Überkappung dieses artifiziell eröffneten Zahnes klinisch als Erfolg gewertet.

Aus der stufenlosen Untersuchung aller Dünnschliffe mit dem Binokular geht klar hervor, daß sich eine Hartgewebsbrücke gebildet hat. Die Perforationsstelle zur Pulpa ist durch eine ca. 0,6 mm breite Dentinschicht vollständig verschlossen. Zur Pulpa hin hat sie ein torbogenförmiges Aussehen, während der Abschluß zur Kavität gerade oder leicht konkav verläuft.

Da bisher über die Mikromorphologie dieser Dentinbereiche wenig bekannt ist, sollen die elektronenmikroskopischen Untersuchungen zu einer Klärung der noch offenen Fragen beizutragen helfen.



C - Calxylschicht
BD - Brückendentin
P - Pulpa

Dünnschliff aus einem zentralen Bereich der Überkappungsstelle

4.1.2. Elektronenmikroskopische Befunde im primären Dentin

Bei den elektronenmikroskopischen Untersuchungen dieses Zahnes wurden zuerst die primären Dentinstrukturen aus den Randbezirken der Kavität näher untersucht. Denn erst aus der Kenntnis normaler Verhältnisse können später Veränderungen erkannt und richtig gedeutet werden.

Das normale Dentin besteht aus einer Grundsubstanz, die von einem dreidimensionalen Geflecht kollagener Fibrillen durchzogen wird. Sie bilden die Matrix bei der Dentinbildung und sind je nach Qualität und Reifegrad dieses Hartgewebes an ihrer typischen Querstreifung im elektronenmikroskopischen Bild zu erkennen. Das gesunde Dentin ist von einer großen Anzahl Dentinkanälchen durchzogen, die den Odontoblastenfortsatz beinhalten. Im peripheren Dentin findet man weniger Kanäle pro Flächeneinheit als in pulpennahen Bereichen. Der Durchmesser der Dentinkanälchen nimmt zum oberflächennahen Dentin ab. Mit zunehmendem Alter findet eine Einengung der Kanallumina infolge der Bildung peritubulären Dentins statt.

Abb. 6 zeigt einen Ausschnitt aus dem primären Dentin. Deutlich erkennt man die einzelnen Dentinkanälchen, deren Zahl in diesem Bereich ca. 50.000/mm^2 beträgt. Sie sind aufgrund der angewendeten Fixationsmethode nicht näher strukturiert oder erscheinen als vollkommen weiße Bezirke, wenn ihr Inhalt bei der Präparation verlorengegangen ist. Dagegen zeigt dieses Bild aber recht eindrucksvoll, daß in dem kariesfreien Zahn des elfjährigen Jungen schon in beachtlichem Maße Obliterationen der Kanäle eingetreten sind, wie man sie sonst nur bei älteren Patienten oder im kariösen Dentin jugendlicher Zähne kannte. Beinahe 25 %

aller Kanäle sind vollständig verschlossen, während die anderen alle Abstufungen einer peritubulären Dentinbildung aufweisen. Diese Anlagerungen von Hartgewebe erfolgen in der Regel nicht konzentrisch, sondern in der Mehrzahl der Fälle befindet sich das Restlumen in einer exzentrischen Lage. Es handelt sich hierbei um ein elektronenoptisch dichteres Material aus kleinsten Kristallen. Bedingt durch das Schneideverfahren bei der Präparation, erscheint es parallel zerrissen und aufeinandergeschoben.

Stärkere Vergrößerungen einzelner Dentinkanäle (Abb. 7) bestätigen das Vorhandensein zusätzlicher intratubulärer Mineraleinlagerungen, wie sie GUGGOLZ (1973) ausführlich beschrieben hat. Diese Mineralisationsschicht hat sich der peritubulären Dentinzone in unterschiedlicher Stärke angelagert und hebt sich durch ihr feinkristallines Material deutlich von dem peritubulären Dentin ab. Auch bei vollständig obliterierten Dentinkanälen ist z. T. der helle Bezirk der intratubulären Mineralisation noch erkennbar, daß heißt, daß hier die Kristallitanreicherung noch nicht zu einem Abschluß gekommen sein muß.

4.1.3. Elektronenmikroskopische Befunde in der Dentinbrücke

Die elektronenmikroskopischen Untersuchungen im Brückenbereich ergeben, daß die erste Hartgewebslage direkt unter der Calxylschicht aus einem nicht kanalisierten Dentin besteht. (Abb. 8). Seine Struktur hat zementähnlichen Charakter. Die Grundsubstanz ist durch einen unregelmäßigen Verlauf der Fibrillen gekennzeichnet, die büschelweise einzelne Bereiche in unterschiedlichen Richtungen durchziehen.

Stärker mineralisierte Bereiche wechseln mit Stellen einer minderen Mineralisation, in denen die kollagene Querstreifung zwischen den einzelnen feinen nadel- oder punktförmigen Kristalliten stärker hervortritt. Solche Auflockerungen der kristallinen Struktur können bis zur Ausbildung von Interglobularräumen in den unterschiedlichsten Größen führen (Abb. 9).

In den nächsten Schnitten (Abb. 10 und 11) - wenige mµ weiter pulpenwärts - weist das Dentin eine ähnliche globuläre Musterung auf, wie sie KUNG (1970) bei der Untersuchung der Tomes'schen Körnerschicht beschrieben hat. Die einzelnen Globuli haben einen Durchmesser von zwei bis fünf mµ. An den Grenzflächen benachbarter Globuli bestehen minderminerализierte Spalten, die beim Zusammentreffen von mehreren Globuli zum Erscheinungsbild der Interglobularräume führen. In diesen minderminerализierten Säumen ist an vielen Stellen die organische Matrix an der Querstreifung des Kollagens zu erkennen. Einzelne kollagene Fibrillen lassen sich aus dem Globulus heraus bis in die minderminerализierten Spalten verfolgen. Vereinzelt kann auch das Auftreten von kleinsten Tubuli beobachtet werden.

Im Anschluß an diesen Saum globulärer Musterung finden wir eine Dentinmatrix von geordneterem Aussehen vor (Abb. 12). Jedoch weist dieses neugebildete Hartgewebe noch einen geringen Mineralisationsgrad auf und ist fast gar nicht kanalisiert.

Erst in den nächsten Schichten ist ein vermehrtes Auftreten von Dentinkanälchen zu beobachten. Kleinste Tubuli mit einem Durchmesser von 0,2 mµ kommen neben größeren von ca. 1mµ vor (Abb. 13). Die Anzahl der Tubuli in diesen pulpenfernen Zonen schwankt zwischen 6.000 und 10.000/ mm^2. Abb. 14 zeigt

einen solchen Dentinkanal der ersten Entwicklungsstufe bei stärkerer Vergrößerung. Das Hartgewebe in unmittelbarer Nähe des Kanals weist einen etwas höheren Mineralisationsgrad auf, als in den umliegenden Gebieten (Abb. 15), wo man deutlich die überwiegend nadelförmigen Kristallite entsprechend dem Verlauf der kollagenen Fibrillen verfolgen kann.

Die große Variabilität der Mikromorphologie dieses jungen Dentins zeigen die folgenden Bilder aus benachbarten Bereichen. Auf Abbildung 16 sind sogar schon gewisse peritubuläre Dentinbildungen festzustellen.

Es finden sich aber auch Bereiche, in denen abweichend vom erwarteten Weg der Dentinbildung keine Dentinkanäle zu finden sind und ein Hartgewebe zementoiden Charakters vorherrscht. Abbildung 17 stellt eine derartige Störzone dar, in deren unteren Teil eine globuläre Struktur überwiegt. Getrennt von einem schmalen Band einer elektronenoptisch dichten Schicht schließen sich stärker mineralisierte globuläre Dentinschichten an, die nur an ihren Rändern die Matrix mit ihren Fibrillen erkennen lassen.

Im Verlaufe der nächsten Ultradünnschnitte in Richtung Pulpa (Abb. 18) läßt sich jedoch ein weiteres Zunehmen des Durchmessers und der Anzahl der Dentinkanälchen feststellen. Kleine Tubuli befinden sich neben großen, deren Querschnitt nicht immer rund oder oval ist, sondern auch gezackt sein kann und auf eventuelle Seitenkanäle schließen läßt.

Bei den Untersuchungen in Pulpennähe ist ein deutlicher Übergang des mineralisierten Dentins zu einem breiten Prädentinsaum zu erkennen (Abb. 19). Im Grenzbereich ist deutlich das unterschiedlich weite Fortschreiten der Kristallisation in das minderminerализierte Prädentin zu beobachten, das bisher noch eine granuläre Struktur aufweist.

4.2. Indirekte Überkappung

4.2.1. Lichtoptische Befunde der Dünnschliffe

Die indirekte Überkappung dieses ausgewählten Zahnes war im klinischen Sinne erfolgreich verlaufen; denn der Zahn hatte nie Beschwerden hervorgerufen und zeigte bis zum Tage der Extraktion eine vitale Reaktion. Das Röntgenbild deutet auf einen leichten Anbau von Hartgewebe unterhalb der Kavität hin.

Die Auswertung der Dünnschliffe mit dem Binokular ergibt, daß die Kavität im gesunden Dentin liegt und sich bis zu 0,5 mm an die Pulpa erstreckt. Eine Beurteilung der Sekundärdentinschicht ist an diesen relativ dicken und unentkalkten Schnitten kaum möglich. Deshalb wurden einzelne der 0,6 mm dicken Präparate mit der rotierenden Scheibe dünn geschliffen und vor der weiteren Einbettung mit dem Lichtmikroskop untersucht. Jedoch waren auch mit dieser Technik keine Einzelheiten innerhalb der Hartgewebsschicht zu unterscheiden.

C - Calxylschicht
D - Dentin
P - Pulpa

Dünnschliff des indirekt überkappten Zahnes

4.2.2. Elektronenmikroskopische Befunde in der durch Karies veränderten primären Dentinschicht am Kavitätenboden

Die Maßnahmen der indirekten Überkappung beziehen sich - per definitionem - auf ein kariöses oder zumindest kariös verändertes Hartgewebe. Bisherige elektronenmikroskopische Untersuchungen aus derartigen Bereichen zeigten, daß kariöse Reize zu Obliterationen der Dentinkanäle oder teilweisen Einlagerungen von Kristallen führen können. Bei eigenen Untersuchungen am mit Calxyl bedeckten, kariös veränderten Dentin konnten dieselben Veränderungen ebenfalls beobachtet werden.

Abbildung 20 und 21 geben einen Ausschnitt der direkt unter der Überkappungsstelle liegenden Dentinstrukturen wieder. Die Aufnahmen beweisen, daß beim Exkavieren der Kavität kein kariös erweichtes Dentin zurückgelassen wurde. Denn in diesen und auch in benachbarten Bereichen wurde stets ein voll mineralisiertes Hartgewebe vorgefunden. Veränderungen sind nur im Bereich der Dentinkanäle anzutreffen. Starke peri- und intratubuläre Kristalleinlagerungen haben ihr Lumen eingeengt oder in anderen Fällen eine vollständige Obliteration hervorgerufen.

4.2.3. Elektronenmikroskopische Befunde aus dem Grenzbereich von Dentin und Pulpa

Im Verlauf der nächsten Schnitte in Pulpennähe treten jedoch einige Veränderungen an den zuvor beschriebenen Strukturen auf. Man findet ein Dentin, das sich zuerst durch die unregelmäßige Form der Dentinkanäle auszeichnet (Abb. 22).

Aber auch in der Grundsubstanz sind bei näherer Untersuchung einige Veränderungen zu erheben. Man vermißt das typische Geflecht der kollagenen Fibrillen. Wir finden eine Hartsubstanz vor, die in ihrer Art eher dem peritubulären Dentin gleicht. Die Dentinkanäle, die bisher einen runden Querschnitt hatten, erhalten von Schnitt zu Schnitt ein mehr gezacktes, später sogar sternförmiges Aussehen und lassen auch die peri- und intratubulären Ablagerungen vermissen (Abb. 23).

Gelangt man weiter pulpenwärts (Abb. 24) nimmt der Durchmesser der "Kanäle" zu. Ihr Aussehen wird immer unregelmäßiger, und häufig scheinen mehrere solcher Kanäle wie eine Seenplatte ineinanderzufließen.

Bei stärkerer Vergrößerung (Abb. 25) erkennt man, daß das Hartgewebe aus einem dichten feinkristallinen Material besteht, das bei der Präparation gemäß dem Verlauf der Schnittrichtung aufeinandergeschoben wurde. Vereinzelt findet man eine nach der kollagenen Matrix ausgerichtete Mineralisation, die eine interzelluläre Verkalkung darstellt. In solchen Bereichen überwiegen kleinste stäbchenförmige Kristalle.

Betrachtet man sich die nächsten Abbildungen aus der Randzone zur Pulpa (Abb. 26 - 28), stellt man fest, daß die Pulpa schon stark verändert ist, im Sinne einer retikulären Atrophie.

Bei kollagenspezifischer Nachkontrastierung mit Uranylazetat treten die organischen Pulpenstrukturen deutlich hervor (Abb. 27) und die typische netzförmige Faserzeichnung wird sichtbar. Das Maschennetz umschließt nebenein-

ander flüssigkeitsgefüllte Räume unterschiedlichster Größe. Das Zahnmark ist bis auf die Reste einiger Zellkerne nicht näher zu differenzieren.

Verfolgt man rückblickend das retikuläre Netzwerk der Pulpa bis an den Grenzbereich des Dentins, hat man den Eindruck, als ob die Dentinstrukturen durch Mineralisation der Pulpenstrukturen hervorgerufen werden.

A B B I L D U N G E N

Die Vergrößerungsangaben (BV) beziehen sich auf die Originalphotos. Die realen Bildgrößen ergeben sich aus dem jeweils eingezeichneten Maßstab.

BV = Bildvergrößerung

Abb. 6 - 19

Aufnahmen des direkt überkappten Zahnes

Abb. 6

Übersichtsaufnahme des normalen Dentins aus Randbezirken der Kavität. Einzelne Tubuli sind vollständig obliteriert.
BV 6.000 : 1

Abb. 7

Stärkere Vergrößerung aus gleichem Gebiet. Ein feinkristalliner intratubulärer Mineralisationssaum ist der peritubulären Dentinschicht angelagert.
BV 18.000 : 1

Abb. 8

Übersichtsaufnahme der zuerst gebildeten Hartgewebslage des Brückendentins. Man vergleiche es mit normalem Dentin (Abb. 6) bei gleicher Vergrößerung. Dieses Dentin ist unkanalisiert und von zementähnlicher Struktur.
BV 6.000 : 1

Abb. 9

Vergrößerung einzelner Interglobularräume. Gebiete ungleicher Mineralisation wechseln einander ab.
BV 8.000 : 1

Abb. 10

Globuläre Mineralisation. Die Form der Globuli ist unterschiedlich. Mangelhafte Mineralisation an den Saumstellen benachbarter Globuli. Deutlich erkennbar die kollagene Querstreifung in den nicht mineralisierten Bezirken.
BV 18.000 : 1

Abb. 11

Trianguläre Kontaktstellen dreier Globuli. In seltenen Fällen konnte hier schon das Auftreten von kleinsten Tubuli registriert werden.
BV 28.000 : 1

Abb. 12

Unreifes, schlecht mineralisiertes Dentin mit kollagener Querstreifung. Die Grundsubstanz weist aber schon einen höheren Ordnungsgrad auf.
BV 14.000 : 1

Abb. 13

Zone der beginnenden Kanalisierung des Dentins mit kleinsten (Ø 0,2 mμ) und etwas größeren Tubuli (Ø bis zu 1 mμ).
BV 6.000 : 1

Abb. 14

Starke Vergrößerung solcher "Mikrotubuli" im unreifen Dentin. Es war immer eine etwas stärkere Mineralisation in direktem Umkreis der Kanäle zu erkennen.
BV 36.000 : 1

Abb. 15

Bei noch stärkerer Vergrößerung in weitem Umkreis der Tubuli gut erkennbar die beginnende Mineralisation mit überwiegend nadelförmigen Kristalliten längs der kollagenen Grundsubstanz.
BV 52.000 : 1

Abb. 16

Andere benachbarte Bereiche zeigen eine ähnliche Struktur mit vermehrter Mineralisation in direktem Umkreis der Tubuli. Der Durchmesser beträgt hier ca. 0,7 mμ.
BV 44.000 : 1

Abb. 17

Störzonen innerhalb der normalen Dentinbildung. Das Hartgewebe weist, wie in der ersten Schicht, wieder eine globuläre Musterung auf. Innerhalb der Globuli ist die Matrix mit ihren Fibrillen nicht zu erkennen.
BV 8.000 : 1

Abb. 18

Bis in Pulpennähe - mit Ausnahme der Störzone - stetige Zunahme des Reifegrades des jungen Dentins. Der Durchmesser der Tubuli beträgt nunmehr ca. 1 bis 1,5 mμ. Ihre Anzahl ca. 35.000/mm^2.
BV 6.000 : 1

Abb. 19

Ein breiter Prädentinsaum, in dem die Tubuli ihr größtes Lumen haben, bildet den Übergang in die Pulpa.
BV 8.000 : 1

Abb. 20 - 28

Aufnahmen des indirekt überkappten Zahnes

Abb. 20

Dentinausschnitt direkt unter der Überkappungsstelle (primäres Dentin). Peri- und intratubuläre Veränderungen haben das Lumen der Dentinkanäle stark eingeschränkt oder verschlossen.
BV 6.000 : 1

Abb. 21

Starke Vergrößerung eines Dentinkanals mit peritubulärer Mineralisation.
BV 28.000 : 1

Abb. 22

Erste Schicht der neugebildeten Hartgewebslage. Es handelt sich um keine echten Dentinkanäle, sondern um nicht verkalkte hydropische Bezirke der retikulär veränderten Pulpa. In einzelnen "Kanälen" ist noch das feinmaschige Netzwerk zu erkennen.
BV 8.000 : 1

Abb. 23

Die für normales Dentin typischen peri- und intratubulären Mineralisationen fehlen bei diesem Hartgewebe.
BV 12.000 : 1

Abb. 24

In pulpennahen Gebieten kann ein "Zusammenfließen" der noch nicht verkalkten Räume beobachtet werden.
BV 14.000 : 1

Abb. 25

Die starke Vergrößerung zeigt Gebiete mit einer interzellulären Verkalkung (IZ) längs der kollagenen Strukturen.
BV 42.000 : 1

Abb. 26

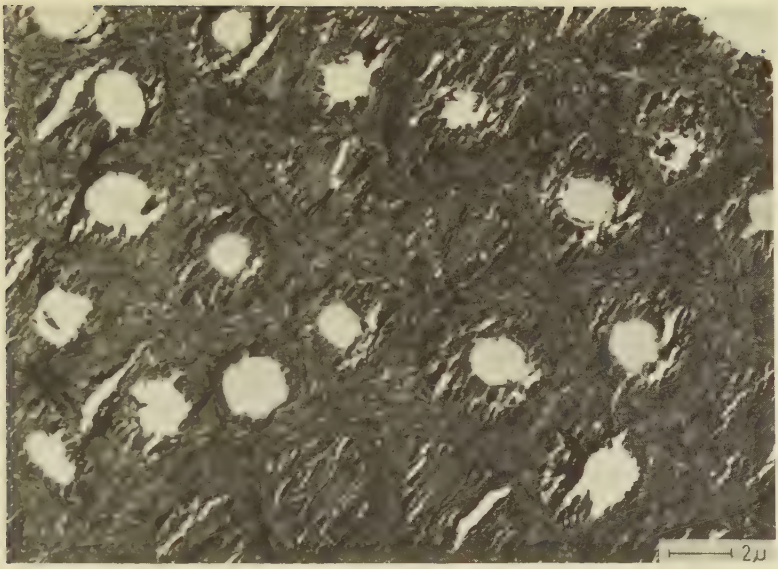
Übersichtsaufnahme aus dem Grenzgebiet zur Pulpa.
BV 6.000 : 1

Abb. 27

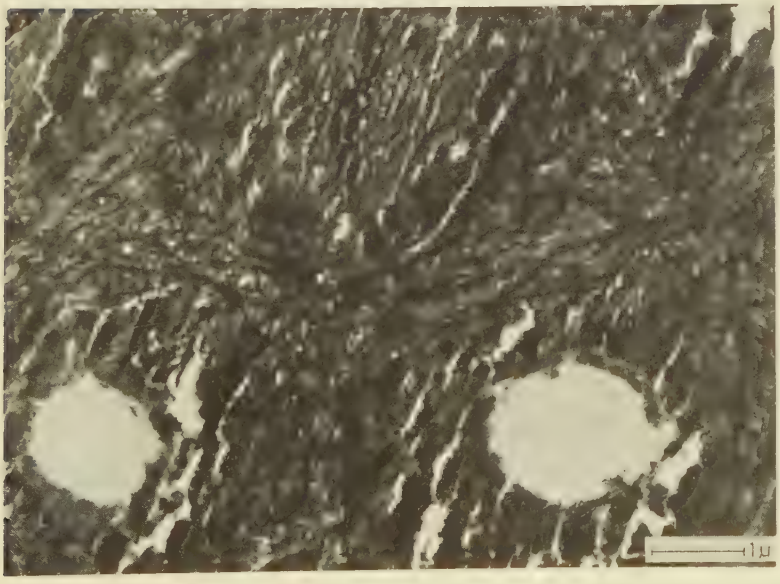
Bei Nachkontrastierung mit Uranylazetat treten die organischen Pulpenstrukturen deutlich hervor. Es liegt das Bild der retikulären Atrophie vor. Am Übergang zur Pulpa hat die passive Mineralisation des netzförmigen Bindegewebes eingesetzt, erkennbar an der granulären Zeichnung.
BV 14.000 : 1

Abb. 28

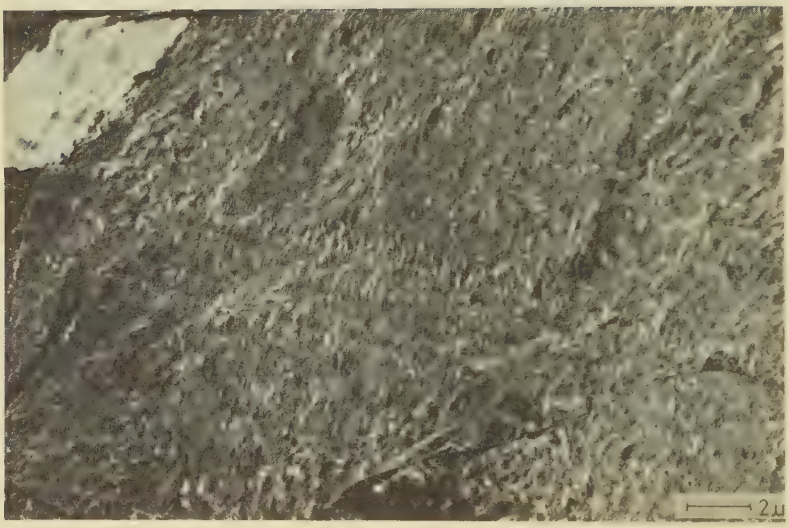
Diese Abbildung macht besonders deutlich, wie durch Aussparung hydropischer Bezirke bei der Mineralisation der Eindruck von "Tubuli" entstehen kann.
BV 12.000 : 1



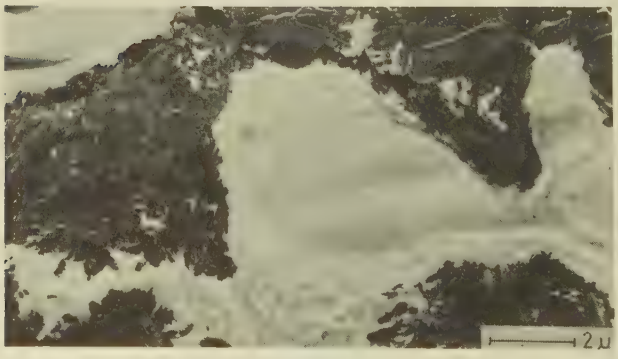
6



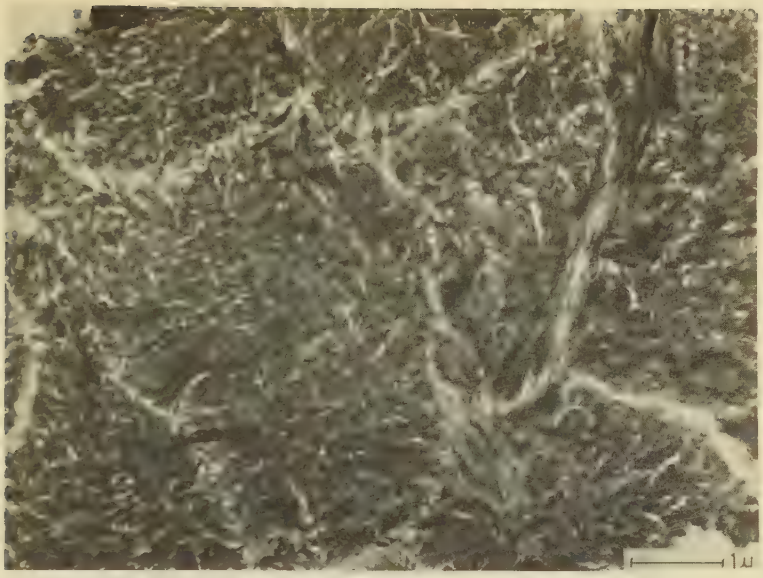
7



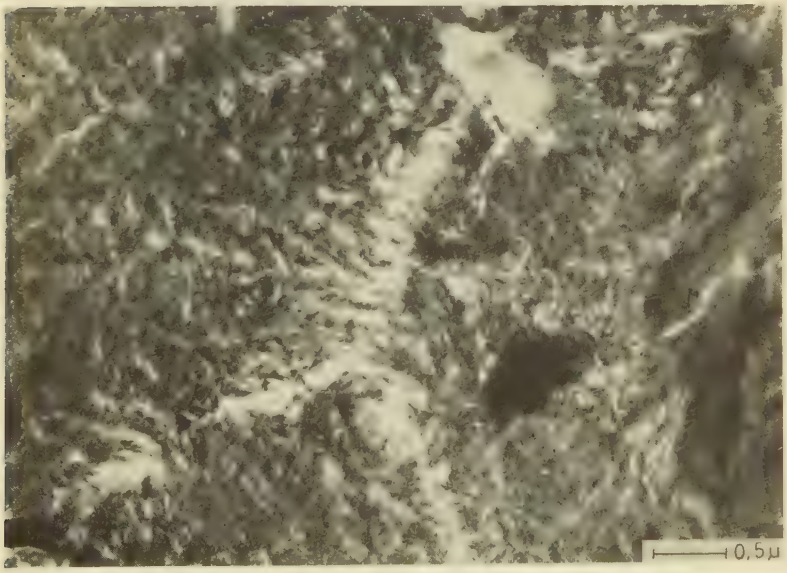
8



9



10

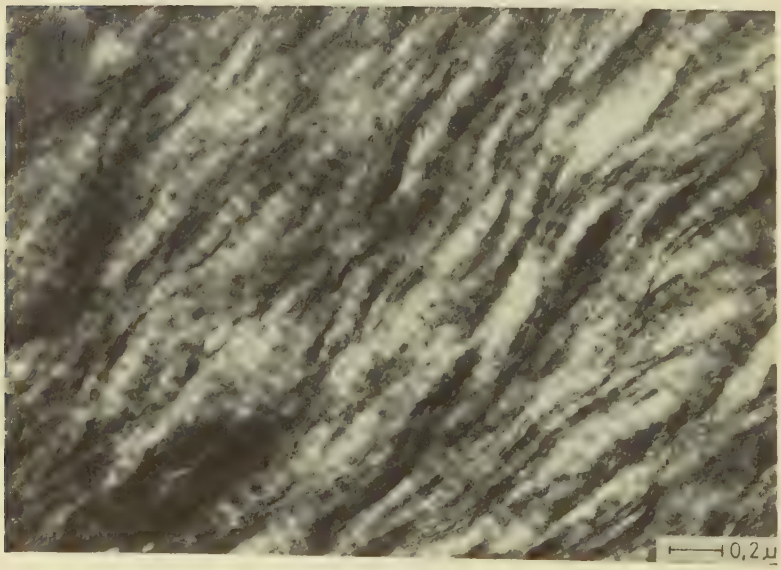


11

12

13

14



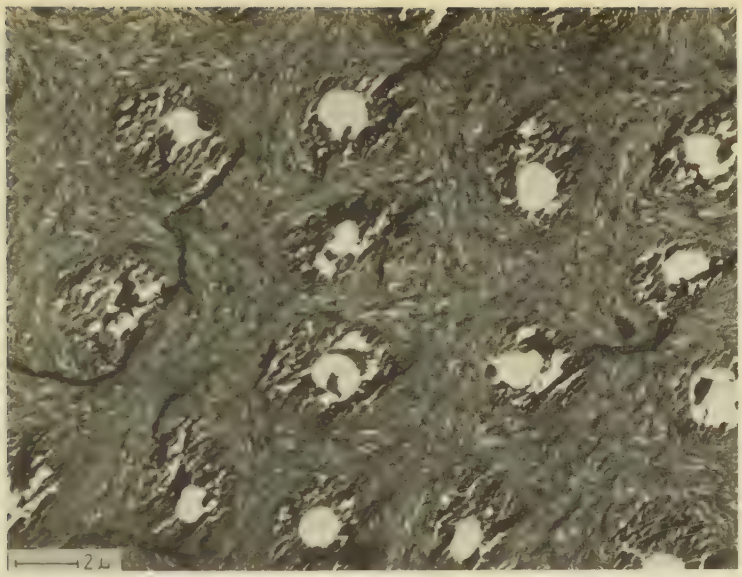
15

16

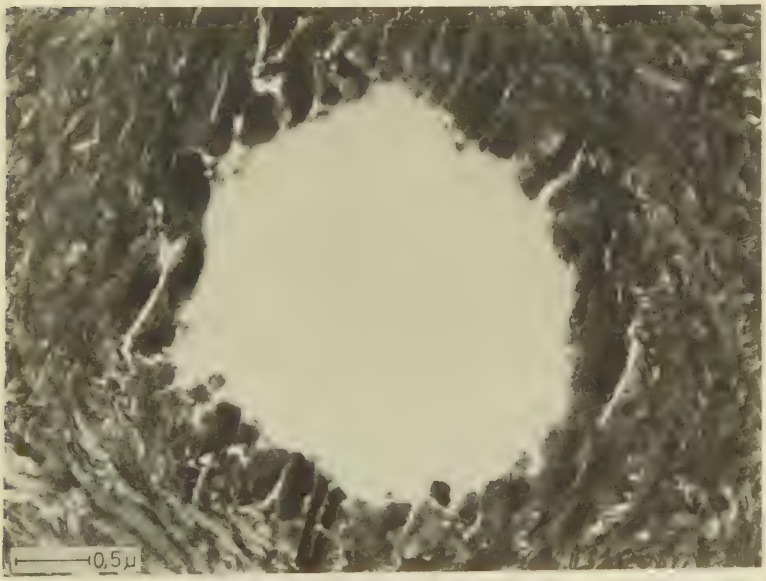
2 µ

18

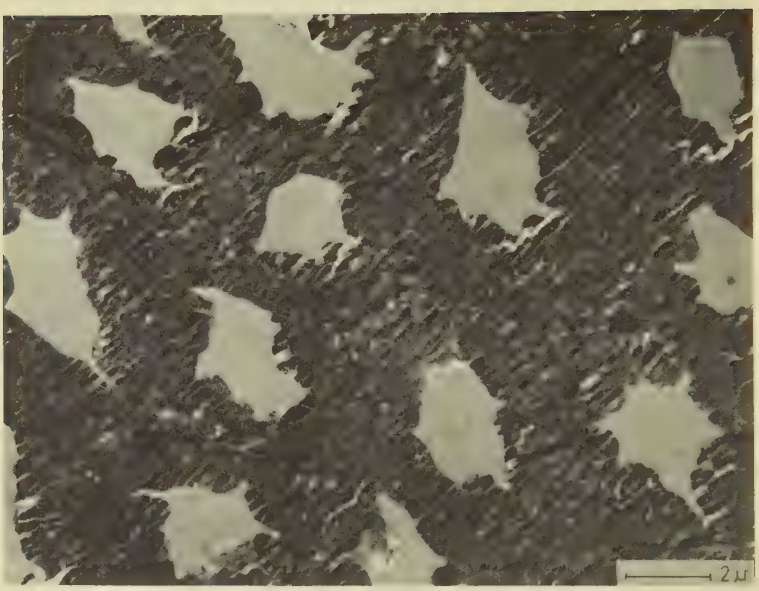
19



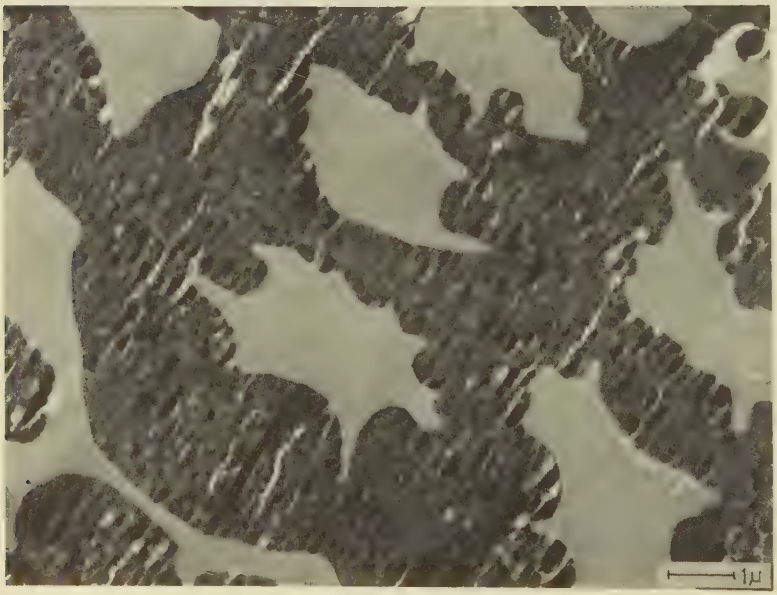
20



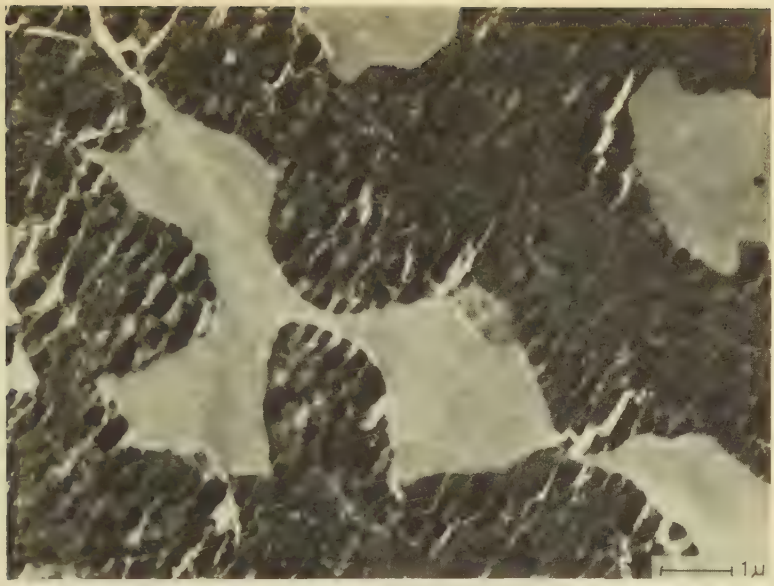
21



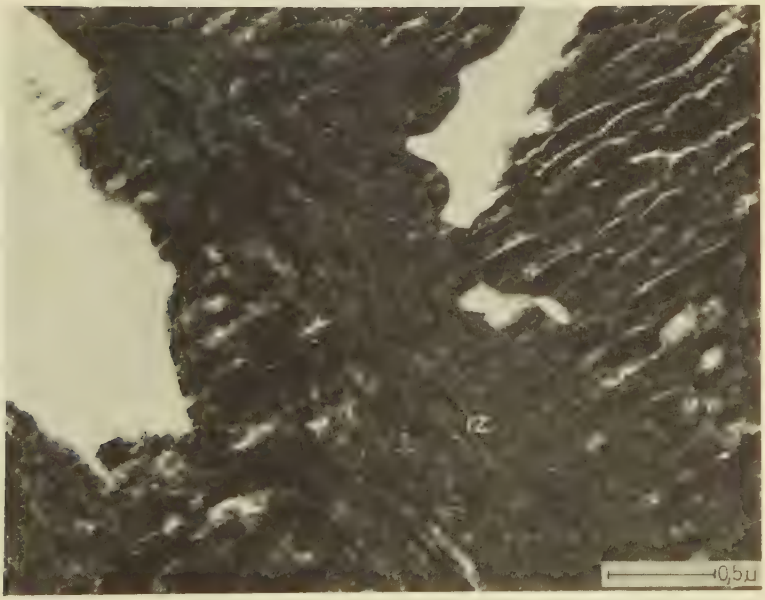
22



23

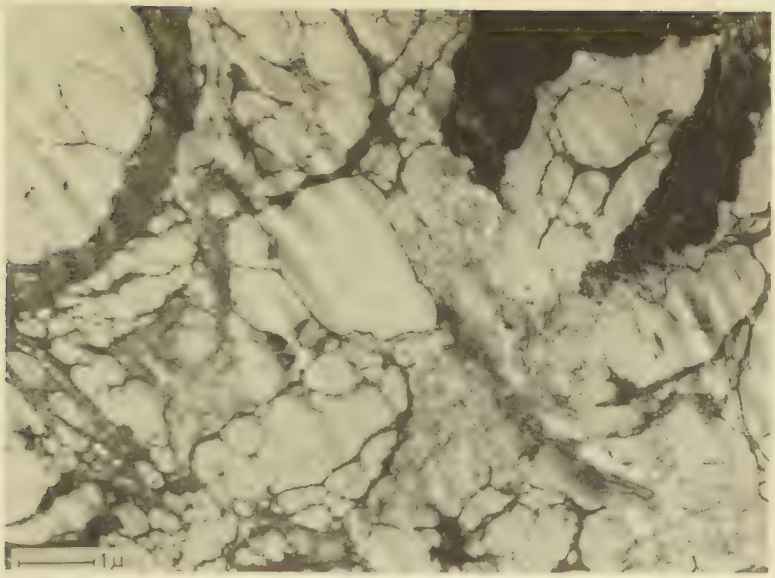


24



25

26



27

28

5. DISKUSSION

Die vorliegenden elektronenmikroskopischen Untersuchungen von direkt und indirekt überkappten Zähnen haben bei Darstellung aller Schichten eine Vielfalt von Variationsmöglichkeiten in der Morphologie der Pulpen- und Dentinstrukturen gezeigt. Bei Betrachtung der elektronenmikroskopischen Aufnahmen sollte aber stets bedacht werden, daß sie jeweils nur einen kleinen Ausschnitt aus einem großen Zusammenhang darstellen. Leicht ist es möglich - gerade in der Elektronenmikroskopie - aus dem Vorliegen einzelner Befunde deduktiv auf das Ganze zu schliessen, weil sie sich gerade in das Gesamtbild einordnen lassen.

Die hier geschilderten Vorgänge und Deutungen beziehen sich demgemäß auch immer nur auf den einzelnen Fall und schließen nicht aus, daß andere Reaktionsabläufe möglich sind. Denn die Reaktionen der Pulpa sind von einer Vielzahl von Faktoren abhängig und können deshalb von Zahn zu Zahn unterschiedlich verlaufen.

Es sollen nur einige der Möglichkeiten aufgezeigt werden, die die Pulpa zur Beantwortung der unterschiedlichsten Reize besitzt.

5. 1. Direkte Überkappung

Im Zusammenhang mit der direkten Überkappung ist in der Literatur immer wieder die Frage diskutiert worden, wann man von einem Erfolg der Behandlung sprechen kann. Eine klinisch scheinbar erfolgreich verlaufene Behandlung stellt sich nur zu oft bei der histologischen Kontrolle als ein Mißerfolg heraus. In vielen Fällen geht die Pulpa erst nach längerer Zeit einer okkult verlaufenen chronischen Pulpitis zugrunde, die der Zahnarzt mit dem Röntgenbild, dem Sensibilitätstest oder bei der direkten Inspektion des Kavitätenbodens nicht zu erfassen vermochte. Er kann nur feststellen, ob die Pulpa die Maßnahmen insoweit überstanden hat, daß sie vital geblieben und ein hartgeweblicher Wundverschluß eingetreten ist. Er ist aber nicht in der Lage, wie FISCHER (1968) betont, "klinisch den differenzierten Zustand der vital reagierenden Pulpa zu erfassen". Allein die histologische Kontrolle, in Verbindung mit dem klinischen Befund, vermag den Erfolg einer bestimmten Behandlungsmethode zu verifizieren.

REBELS (1922) oft zitierter Ausspruch, daß jede eröffnete Pulpa ein verlorenes Organ sei, konnte schon recht bald durch gezielte histologische Untersuchungen widerlegt werden. Inwieweit aber die erstrebte hochwertige Reparation durch eine echte Dentinneubildung möglich ist und Fragen der Dentinogenese des Brückendentins können durch lichtoptische Untersuchungen allein nicht geklärt werden, sondern bedürfen einer näheren ultrastrukturellen Analyse.

Durch die breite artifizielle Eröffnung der Pulpa des für diese Untersuchungen ausgewählten Zahnes, wurde die Homogenität des schützenden Dentinmantels unterbrochen. Aus

dem Auftreten einer leichten Blutung kann mit Sicherheit angenommen werden, daß die gefäßarme Weil'sche Zone überschritten und ein Teil des Zahnmarkes mit der Odontoblastenschicht amputiert wurde. An den Randbezirken der Wunde mußte eine starke Traumatisation der Odontoblasten eingetreten sein. Nach der Blutstillung wurde die Pulpa, wie anfangs beschrieben, mit Calxyl direkt überkappt.

Die vorliegenden Ergebnisse haben gezeigt, daß es tatsächlich möglich ist, die Pulpa bei geeigneter Behandlung zu erhalten. Im Verlaufe der Versuchsdauer von einem halben Jahr bewahrte sie ihre Vitalität und war darüber hinaus imstande, die Wunde hartgeweblich zu schließen. Somit kann festgestellt werden, daß die eröffnete Pulpa kein "verlorenes Organ" zu sein braucht.

Die elektronenmikroskopischen Untersuchungen bestätigen die schon aufgrund lichtoptischer Befunde vertretene Ansicht, daß eine echte Dentinneubildung nach direkter Überkappung möglich ist und geben Aufschluß über Art und Lage der gebildeten reparativen Hartsubstanzen.

Die ersten Schichten der Dentinbrücke werden in der Literatur stets als Verkalkungsprozeß einer nekrotischen oder nekrobiotischen Zone, als Osteodentin oder als primitives Dentin beschrieben (GLASS, R. und ZANDER, H.A., 1949; FRANKE, I., 1955; SVEJDA, I. und MELKOVA, V., 1968). Dieses wohl deshalb, weil bei lichtoptischer Betrachtungsweise keine Dentinkanäle auszumachen waren und man knochen- oder zementähnliche Strukturen zu erkennen glaubte.

Tatsächlich handelt es sich bei dem zuerst gebildeten Dentin der Brücke - wie Abbildungen 8 und 9 zeigen - um ein

unkanalisiertes Hartgewebe zementoiden Charakters, das nicht als passives Verkalken nekrotischer oder nekrobiotischer Gewebe zu verstehen ist, sondern als aktives Mineralisationsprodukt der Pulpa. Dieses Dentin ist von einer geringen Qualität; denn die Odontoblasten sind noch nicht vollständig aus den Pulpazellen differenziert. Es ist anfänglich von einer Vielzahl nichtmineralisierter Räume durchsetzt, die manche Autoren zu der Bezeichnung einer "schwammartigen Erscheinung" geführt haben mögen. Es kann vermutet werden, daß diese Defekte durch Einlagerung nekrotischen Gewebes, das nicht die Fähigkeit zur aktiven Mineralisation besaß,entstanden sind.

Die kollagene Grundsubstanz weist einen ungeordneten Verlauf auf und läßt in der Mineralisation auf einen unreifen Zustand schließen. Wählt man die Einteilung des irregulären Dentins von REICH, P., (1907), der je nach Qualität von einer ersten bis dritten Ordnung sprach, würde man dieses Hartgewebe letzterer zuordnen müssen.

Von den meisten Autoren wird die Meinung vertreten, daß sich dieser Zone direkt das tubuläre Dentin anschließt (SVEJDA, I., 1968; SCHRÖDER, U., 1972). Die eigenen elektronenmikroskopischen Untersuchungen zeigen aber, daß der kanalisierten Dentinbildung eine globuläre Mineralisation - analog der normalen Dentinbildung - vorangeht. Diese Schicht globulärer Musterung befindet sich immer im nicht kanalisierten Dentin und gilt als unvollständiges Produkt nicht voll differenzierter Odontoblasten. Die einzelnen "Globuli" sind nicht immer rund, sondern haben ein sehr polymorphes Aussehen, wie z. B. Ellipsen, Halbmonde, Sicheln oder Vielecke. Bei näherer Betrachtung der Verlaufsform einzelner Kristalle müssen die früheren Ansichten,

daß die Verkalkung von einem Kristallisationszentrum ausgehend rein radiär, hornperlen- oder zwiebelschalenförmig fortschreitet als widerlegt gelten (FISCHER, C.H., 1972). Man muß sich vielmehr eine Mineralisationsfront in Richtung Pulpa vorstellen, wobei sich der einzelne "Globulus" bis in die Nähe seiner Nachbarn ausbreitet, ohne ihn direkt zu berühren. Auf diese Weise entstehen nicht mineralisierte Spalten, die beim Zusammentreffen von mehreren Globuli die Interglobularräume bilden. Diese Räume entsprechen der von KUNG, Y., (1970) beschriebenen Tomes'schen Körnerschicht im Wurzelbereich der Zähne.

Mit weiterer Differenzierung der Odontoblasten verliert sich die globuläre Struktur, und die Grundsubstanz weist eine dem normalen Dentin ähnliche Ordnung auf. Jedoch läßt der geringe Mineralisationsgrad auf einen unreifen Zustand dieser Gewebe schließen. Aus dem Fehlen oder nur gelegentlichen Auftreten von Dentinkanälchen kann gefolgert werden, daß noch keine Odontoblastenfortsätze gebildet sind. Erst nach wenigen 100 mμ unkanalisierten Dentins findet man weit verteilt kleinste Tubuli (Ø 0,2 mμ). Aus der allmählichen Zunahme der Zahl und Größe der Tubuli in Richtung Pulpa kann man direkt den jeweiligen Differenzierungsgrad der Odontoblasten ablesen.

Die Dentinbrücke weist in Pulpennähe ca. 35.000 Dentinkanälchen pro mm^2 mit einem Durchmesser von 1 mμ bis 1,5 mμ auf; also annähernd Werte, die denen des primären Dentins gleichen.

Bezüglich der Qualität der Hartsubstanzbrücke läßt sich eine Zunahme des Reifegrades des Dentins in Richtung Pulpa feststellen. Die lockere Struktur der kollagenen Grundsub-

stanz ist in späteren Schichten einer vermehrten und dichteren Mineralisation gewichen, besonders im Umkreis der Tubuli.

Der Abschluß der Pulpa wird von einer normal ausgeprägten Prädentinschicht gebildet, in der die Tubuli ihr größtes Lumen aufweisen (ca. 2 mµ). Diese Ausbildung einer normalen Prädentinschicht und die zuvor geschilderten Befunde sprechen dafür, daß der Funktionsgrad der neugebildeten Odontoblasten zugenommen hat, und sie somit in der Lage sind, die zerstörten oder beseitigten primären Odontoblasten in vollem Umfang zu ersetzen.

Bei rückwirkender Betrachtung der Dentinogenese des Brückendentins wird deutlich, daß sie unter günstigen Voraussetzungen nach den gleichen Gesetzmäßigkeiten und in gleicher Art ablaufen kann, wie die primäre Dentinbildung. Es erhebt sich jedoch die Frage, wie die Induktion zur Differenzierung von Odontoblasten zu erklären ist, die im normalen Dentin des Kronenbereichs durch Ameloblasten erfolgt. Ob das Calxyl dabei einen direkten Einfluß hat, wie HERMANN (1936) annimmt, ist fraglich und wird immer wieder bestritten. Vielmehr scheinen durch den Gesamtreiz der Überkappung (Bohrtrauma und Calxylwirkung) freigesetzte Entzündungsmediatoren eine Rolle bei der Induktion zur Differenzierung von Odontoblasten zu spielen.

Die Reizbeantwortung muß aber nicht in jedem Fall zur Differenzierung von Odontoblasten und zur Bildung eines hochwertigen Dentins führen, da sie von der Reizintensität, Reizdauer und "Reaktionslage" (HARNDT, R., 1969) des Organismus abhängig ist und dementsprechend unterschiedlich ausfallen kann. Im Rahmen der Dentinentwicklung werden verschiedene Reifestadien durchlaufen, und auf jedem dieser Stadien kann sie stehenbleiben oder infolge Entdifferenzierung der Odontoblasten wieder zu einem atubulären Dentin führen.

5.2. Indirekte Überkappung

Wie bei der direkten Überkappung hängen auch bei der indirekten Überkappung die Erfolgsaussichten der Behandlung von der Art der Reizbeantwortung ab. Sie wird bestimmt durch die Faktoren: Reizintensität, Reizdauer und "Reaktionslage" des Organismus. Der behandelnde Zahnarzt wird sicher immer bemüht sein, die ersten beiden Größen möglichst klein zu halten, während er sich von der Abwehrkraft der Pulpa kein sicheres Bild machen kann.

Aber auch der Zustand des Dentins vor der Behandlung hat einen großen Einfluß auf das Behandlungsergebnis, wie später noch auszuführen sein wird.

So ist es nicht verwunderlich, daß bei gleicher Überkappungsmethode die unterschiedlichsten Erfolge zu verzeichnen sind.

Im vorliegenden Fall war der obere rechte Weisheitszahn einer Frau mittleren Lebensalters zu überkappen, da nach der Entfernung aller kariös erweichten Massen nur noch eine geringe Dentindecke bis zur Pulpa vermutet wurde. Nach Ablauf der Beobachtungsdauer von einem halben Jahr wurde der bis dato vitale Zahn extrahiert und der histologischen Untersuchung zugeführt.

Aus den Ergebnissen ist ersichtlich, daß die dünne primäre Dentindecke über der Pulpa aus einem kariesfreien Dentin besteht. Zahlreiche Veränderungen im Bereich der Dentinkanälchen, wie sie auch schon von anderen Autoren unter kariösen Defekten beschrieben wurden (LENZ, 1955; GUGGOLZ, 1973; KRÄLING, 1973), zeugen davon, daß der chronische Reiz der Karies zu einem regressiven Verhalten der Odonto-

blasten geführt hat. Es handelt sich hierbei um peri- und intratubuläre Mineralisationen, aber auch um totale Obliterationen. Die Schädigung dieser hochspezialisierten Zelle führte zu ihrer Entdifferenzierung oder sogar zu einem langsamen Absterben, wie viele offene Tubuli zeigen. Sie ist in solch einem Stadium nicht einmal mehr in der Lage, zu einer weiteren peritubulären Dentinbildung beizutragen. Allerdings konnten die passiven intratubulären Kristallitausfällungen, Zeichen einer "Austrocknung" des Dentinkanals beim Vorliegen einer funktionslosen Odontoblastenzelle, nicht gefunden werden.

Aus der Tatsache, daß auf den Abbildungen nur einzelne Dentinkanäle vollständig obliteriert erscheinen, kann jedoch nicht geschlossen werden, daß die zuvor beschriebenen offenen Tubuli auch während ihres gesamten Verlaufs in Richtung Pulpa ihr freies Lumen behalten. LENZ und HARNDT (nach persönlicher Mitteilung) konnten nämlich nachweisen, daß aufgrund einer Störung (Vit. C Mangel) entdifferenzierte Odontoblasten nach Wegfall der Störung ihre normale Funktion wieder aufnehmen und kanalisiertes Dentin bilden können. Eine spätere sekundäre Differenzierung ist also möglich und kann auch im vorliegenden Fall nach Entfernung der Karies eingetreten sein und zu einer Obliteration pulpennaher Dentinkanäle geführt haben.

Bei Berücksichtigung dieser histologischen Befunde wird deutlich, daß Erfolg und Mißerfolg der indirekten Überkappung in großem Maße vom Zustand des Dentins vor der Behandlung und von der Stärke der Reize abhängen müssen.

Bei rapidem Verlauf der Karies ist die Gefahr der Schädigung des Zahnmarks sehr groß, da die Dentinkanäle nicht

durch regressive Veränderungen an den Odontoblasten verengt, bzw. völlig verschlossen werden können.

Bei langsamem Fortschreiten der Karies haben die Odontoblasten die Möglichkeit, alle Tubuli nach und nach zu verschließen. Ihre Fähigkeit zur Reizleitung in Richtung Pulpa wird dadurch vermindert.

Bei Berücksichtigung der ultrastrukturellen Gegebenheiten im durch Karies veränderten Dentin wird deutlich, daß auch ein Stofftransport, wie er bei Verwendung des Calxyls angenommen wird, durch Obliteration der Tubuli eingeschränkt oder ganz unmöglich sein kann. Die große Bedeutung, die ihm für die Induktion der Odontoblasten zur Hartgewebsbildung und Kristallkernbildung beim Aufbau des Sekundärdentins zugesprochen wird, scheint gerade bei der indirekten Überkappung - in Übereinstimmung mit FISCHER (1972) und ARNOLD (1970) - sehr zweifelhaft.

Zusätzlich werden die Wirkungsmöglichkeiten des Calxyls durch den Zustand der Pulpa im Verlaufe der Heilungsphase bestimmt. Die Pulpa dieses Zahnes war nicht einmal mehr in der Lage, aktiv ein Sekundärdentin zu bilden, da degenerative Veränderungen im Sinne einer retikulären Atrophie eingetreten waren.

Die gebildeten Hartsubstanzen hätten sicherlich bei lichtmikroskopischer Untersuchung für ein echtes Sekundärdentin gehalten werden können. Und auch bei flüchtiger Betrachtung der elektronenmikroskopischen Aufnahmen (Abb. 22) aus dem Grenzbereich von Dentin und Pulpa hat man noch den Eindruck eines annähernd normalen Dentins. Jedoch entpuppt sich dieses Hartgewebe bei näherer ultrastruktureller Analyse am

Übergang zur Pulpa als ein nicht von Zellfortsätzen gebildetes und dann mineralisiertes Sekret, sondern als passives Verkalken von organischer Substanz. Es stellt das mineralisierte Abbild der retikulär veränderten Pulpa dar. Diese Pulpa war trotz der Einwirkung des Calxyls nicht mehr zu einer produktiven Reaktion in der Lage, sondern auf dem Wege des Entzündungsgeschehens wird die Verkalkung als letzte Leistung der Zelle eingeleitet (Abb. 26 - 28).

Durch diese Aufnahmen verkalkter und damit in vivo fixierter Pulpenstrukturen sind auch die Autoren anzuzweifeln (HILL, 1934; LANGELAND, 1957), die die lichtmikroskopisch als retikuläre Atrophie bezeichneten Strukturen für ein Artefakt hielten, der in vitro bei Herstellung der Präparate entstanden ist.

Die passive Mineralisation der retikulär veränderten Pulpa stellt einen weiteren regressiven Vorgang dar, dem aber eine bedeutsame "Schutzwirkung" vor weiteren Reizen zukommt. Die Pulpa kann so noch längere Zeit vor einem endgültigen Absterben bewahrt bleiben. Eine notwendige Wurzelkanalbehandlung seitens des Zahnarztes ist vorerst aufgeschoben, denn mit R. HARNDT (1969):
"Auch eine degenerativ veränderte Pulpa ist vital".

6. ZUSAMMENFASSUNG

Es wurden Beispiele für mögliche Reaktionsweisen der Pulpa nach direkter und indirekter Überkappung mit Calxyl gegeben. Beide Fälle konnten unter klinischen Gesichtspunkten als Erfolg der Behandlungsmaßnahme gewertet werden. Bei elektronenmikroskopischer Betrachtung dieser Zähne ergaben sich jedoch große Unterschiede in der Morphologie der untersuchten Strukturen. Aus ihnen ließen sich Rückschlüsse auf die Entstehung der einzelnen Hartgewebe ziehen, und sie gaben Anlaß, die möglichen Wirkungen des Calxyls kritisch zu betrachten.

Im Falle der direkten Überkappung ergaben die Untersuchungen aus der Dentinbrücke:

1. Unter günstigen Voraussetzungen ist eine echte Dentinneubildung zum Verschlusse der Perforationsstelle zur Pulpa möglich.

2. Die Dentinneubildung (Brückendentin) stellt einen aktiven Mineralisationsakt dar und wird als Leistung neudifferenzierter Odontoblasten diskutiert. Sie verläuft analog der primären Dentinogenese:

   Bildung eines nicht kanalisierten Hartgewebes minderer Qualität in der ersten Dentinschicht mit einer Vielzahl an Interglobularräume erinnernde Defekte.

   In der nächsten Schicht: Zustand einer globulären Mineralisation. Sie wird mit der Tomes'schen Körnerschicht verglichen.

Allmähliche Zunahme des Reifegrades der neugebildeten Hartsubstanz in Richtung Pulpa. Die Grundsubstanz weist schon einen höheren Ordnungsgrad auf.

Auftreten von kleinsten Tubuli (Ø 0,2 mμ), deren Zahl und Durchmesser im Verhältnis des Differenzierungsgrades neuer Odontoblastenzellen zunimmt.

In Pulpennähe annähernd normale Dentinstrukturen mit ca. 35.000 Dentinkanälen pro mm^2.

Der Übergang zur Pulpa mit einem breiten Prädentinsaum spricht für einen normalen Funktionsgrad der sekundären Odontoblasten.

3. Es wird auf den Einfluß von Entzündungsmediatoren bei der Induktion zur Differenzierung von sekundären Odontoblasten hingewiesen.

Im Falle der indirekten Überkappung ergaben die Untersuchungen aus Hartgewebe und Pulpa:

1. Die dünne primäre Dentinschicht über der Pulpa dieses Zahnes weist keine Entmineralisationen auf, d.h. ein kariesfreies Dentin wurde indirekt überkappt.

2. Peri- und intratubuläre Mineralisationen - bis zur totalen Obliteration - zeugen von einem regressiven Verhalten der Odontoblasten gegenüber dem chronischen Reiz der Karies.

3. Es wird der Einfluß des Zustands des Dentins vor der Behandlung auf Erfolg und Mißerfolg bei der indirekten Überkappung dargestellt. Obliterationen der Dentinkanäle vermindern einerseits die Reizleitung zur Pulpa, schrän-

ken andererseits auch einen Stofftransport von therapeutischen Substanzen, wie Calxyl, ein oder machen ihn ganz unmöglich.

4. Die Verhältnisse in der Pulpa und ihr Einfluß auf Reaktionsweisen nach indirekter Überkappung werden diskutiert.

5. Die neugebildeten Hartsubstanzen dieses Zahnes stellen eine passive Mineralisation der retikulär atrophierten Pulpa dar. Diese Pulpa war überhaupt nicht in der Lage, auf die Überkappung mit einer aktiven Dentinbildung zu reagieren. Dennoch wird dieser passiven Mineralisation eine bedeutsame "Schutzwirkung" vor weiteren Reizen zugesprochen.

6. Diese Befunde in vivo durch Verkalkung fixierter organischer Strukturen zeigen, daß die retikuläre Atrophie kein Artefakt ist, wie von einigen Autoren aufgrund lichtmikroskopischer Untersuchungen angenommen wurde.

7. LITERATURVERZEICHNIS

ARNOLD, W. H. — Die Hartsubstanzbildung als reparatorische Leistung der Zahnpulpa. Öst. Z. Stomat. 62, 289 (1965)

ARNOLD, W. H. — Pulpabehandlung - Praxis und Theorie. Zahnärztl. Prax. 14, (1970)

BAUME, L. J. — Möglichkeiten und Grenzen der Vitalerhaltung der entzündeten Pulpa. Schweiz. Mschr. Zahnheilk. 75, 1085 (1965)

BHASKAR, S. N. CATRIGHT, D. E. OSDEL, v. V. — The response to Cortisone Containing, Cortisone Free Calcium Hydroxide. Unites States Army Institute of Research, Walter Read Army Medical Center, Washington DC 20012

BLACK, G. V. — Konservierende Zahnheilkunde. Berlin (1914)

CASTAGNOLA, L. — Die Lebenderhaltung der Pulpa in der konservierenden Zahnheilkunde. Carl Hanser Verlag, München (1953)

CLARKE, N. G. — Reparative dentinbridge. J. Dent. Res. 49, 654 (1970)

DÄTWYLER, G. — Klinische und histologische Untersuchungen über einige Pulpaüberkappungsmethoden. Schweiz. Vjschr. Zahnheilk. 31, 291 (1921)

DAUSCH, H. SAUERWEIN, E. — Über die Reaktion der vitalamputierten, mit Calxyl bedeckten Pulpa. Dtsch. Zahnärztl. Z. 7, 613 (1952)

ENGEL, W.
Möglichkeiten und Grenzen der Vitalerhaltung der Pulpa. Zahnärztl. Welt 64, 109 (1963)

ESCHER, O.
Pulpenschutz und Unterfüllungen. Dtsch. zahnärztl. Wschr. 35 (1908)

FISCHER, C-H.
Der Wert der histologischen Untersuchungen bei der Beurteilung von Auswirkungen bestimmter Behandlungsmethoden auf die Pulpa. Dtsch. zahnärztl. Z. 7, 702 (1968)

FISCHER, C-H.
Endodontie. Die Quintessenz, Buch- und Zeitschriftenverlag, Berlin (1972)

FLOHR, W.
Die biologische Wurzelbehandlung. Zahnärztliche Rdsch. 31 (1936)

FRANKE, R. M.
NALBANDIAN, J.
Aspects ultrastructuraux du mecanisme de la calcification. Archives of Oral Biology Pergamon Press Ltd. 95 (1963)

FRANKE, J.
Das feingewebliche Bild nach der Amputation der Milchzahnpulpa. Dtsch. zahnärztl. Z. 10, 1803-1806 (1955)

FRIMMER, M.
Biochemie der Entzündung. Bild der Wissenschaft 4 (1968)

GLASS, R.
Pulp healing. J. dent. Res. 28, 97 (1949)

GUGGOLZ, B.
Elektronenmikroskopische Untersuchungen des Dentins von bleibenden menschlichen Zähnen mit Abrasionen und keilförmigen Defekten. Med. Diss. Berlin (1973)

HARNDT, E.
Die körpereigene Hartgewebsausfüllung des Wurzelkanals. Dtsch. zahnärztl. Z. 3, 392 (1960)

HARNDT, R.
Klinische Kontrolle direkter Überkappungen der gesunden Pulpa. Dtsch. Zahnärzteblatt 16,735 (1962)

HARNDT, R. Die Erkrankungen der Pulpa und ihre Diagnose. Dtsch. zahnärztl. Z. 24, 389, (1969)

HENTZE, A. Behandlung infizierter Zahnpulpen. Dtsch. Mschr. Zahnhk. 7 (1907)

HERMANN, B. W. Calziumhydroxyd als Mittel zum Behandeln und Füllen von Wurzelkanälen. Diss. Würzburg (1920)

HERMANN, B. W. Biologische Wurzelbehandlung. Kramer, Frankfurt a. M. 1936

HILL, T. J. Pathology of the dental pulp. J. Amer. Dent. Ass. 21, 820 (1934)

HOEFIG, W. Möglichkeiten und Grenzen der Behandlung des Frontzahntraumas. Dtsch. Zahnärztekalender 28 (1971)

KETTERL, W. Histologische Untersuchungen über das Ausgangsstadium der sogenannten indirekten Überkappung bei Karies profunda. Dtsch. Zahnärztebl. 15 (1964)

KETTERL, W. Die Pulpen- und Wurzelbehandlung. In: Praxis der Zahnheilkunde, Bd. I Urban & Schwarzenberg München-Berlin-Wien 1972

KIRYATI, A. A. The effect of hydrocortisone plus polyantibiotics upon the damaged and infected dental pulp of rat molars. J. Dent. Res. 37, 886 (1958)

KOCH, R. Die Einwirkung von Nelkenöl und Eugenol auf die Pulpa. Schwabe, Basel 1953

KRÄLING, B. Elektronenmikroskopische Untersuchungen an Zähnen mit dem klinischen Bild einer Zementkaries. Med. Diss. Berlin 1973

KRAUS, A. — Ist Exkavieren bis ins gesunde Dentin notwendig? Z. Stomat. 32, 1459 (1934)

KUNG, Y. — Elektronenmikroskopische Untersuchungen der Tomes'schen Körnerschicht im menschlichen Dentin. Med. Diss. Berlin 1970

LANGELAND, K. — Tissue changes in the dental pulp. Oslo University Press 74 (1957)

LENZ, H. — Elektronenmikroskopische Untersuchungen des normalen Dentins und deren Veränderung durch Karieseinwirkung. Med. Diss. Berlin 1955

LETTERER, E. — Allgemeine Pathologie. Thieme Verlag, Stuttgart 1959

LINDNER, J. — Morphologie, Biochemie und Radiochemie der Entzündung. In: Die Entzündung. Grundlagen und pharmakologische Beeinflussung. Int. Symp. 4. - 6. Mai 1966 Urban & Schwarzenberg München-Berlin-Wien 1966

LÖRENCZY-LANDGRAF, E. — Lebenderhaltung der entzündeten Pulpa. Zahnärztl. Prax. 10, 49 (1959)

MAIZUMI, H.
SAUERWEIN, E. — Die Wirkung verschiedener Vitalerhaltungs- und Wurzelfüllmittel auf Gewebekulturen. Dtsch. zahnärztl. Z. 17, 1628 (1962)

MÜLLER, O. — Pathohistologie der Zähne. Verlag B. Schwabe, Basel 1948

MÜNCH, J. — Die Zahnerhaltung. Johann Ambrosius Barth, München (1966)

ZUR NEDDEN, A. — Die Behandlung der bloßliegenden Pulpa. Dtsch. Vjschr. Zahnheilk. 1, 73 (1861)

PAJAROLA, W. F.
Die Überkappung gesunder und infizierter Pulpen mit Calxyl.
Schweiz. Mschr. Zahnheilk. 6 (1940)

PANTKE, H.
Eine Möglichkeit zur Pulpitisbehandlung.
Zahnärztl. Prax. 20, 253 (1969)

PETILLIOT, K.
Reizung und Reizantworten innerhalb der Pulpa - Systematisierung und Interpretation nach reglungstheoretischen Gesichtspunkten.
Med. Diss. Berlin(1971)

PFAFF, P.
Abhandlung von den Zähnen. (1756)
Georg Olms Verlagsbuchhandlung, Hildesheim (1966)

PLATHNER, C. H.
Zur Frage der Therapie der Caries profunda.
Dtsch. Zahn-, Mund- und Kieferheilk. 17, 286 (1952)

PRITZ, W.
Über die Lebenderhaltung der menschlichen Zahnpulpa.
Gedanken und Untersuchungen.
Öst. Z. Stomat. Heft 2 und 3 (1970)

REBEL, H. H.
Über die Ausheilung der freigelegten Pulpa.
Dtsch. Zahnheilk. Vortr. 55 (1922)

REICH, P.
Das irreguläre Dentin der Gebrauchsperiode.
Gustav Fischer, Jena (1907)

RICKER, G.
RÖSSLE, R.
in:
BÜCHNER, F.
Allgemeine Pathologie.
Verlag Urban & Schwarzenberg, München - Wien (1966)

ROTH, M.
Vitalamputation unter Anwendung von Calxyl.
Z. Stomat. 18, 19 (1940)

RUCKTESCHLER, D.
WINTER, F.
Zur Methodik der direkten Pulpenüberkappung.
Zahnärztl. Prax. 1, 10, 3 (1950)

SAUERWEIN, E. Untersuchungen zur Frage der Ätzwirkung des Calxyls. Zahnärztl.Welt 6, 120 (1951)

SAUERWEIN, E. Zahnerhaltungskunde. Georg Thieme Verlag, Stuttgart (1970)

SCHEFF, J. Das Jodoform in der Zahnheilkunde. Dtsch. Vjschr. Zahnheilk. 1, 1 (1882)

SCHILD, M. Die Bedeutung der Überkappung für die konservierende Zahnheilkunde. Öst.-Ung. Vjschr. Zahnheilk. 14, 126 (1898)

SCHRÖDER, A.
TRIADAN, H. Die Behandlung der Pulpitis und Periodontitis mit einem Corticoid-Antibiotikum-Präparat. Quintessenz 7 (1962)

SCHRÖDER, U. Evaluation of healing following experimental pulpotomy of intact human teeth and capping with calcium hydroxide. Odont. Revy 23, 329 (1972)

SCHUHMACHER, E. Über den Einfluß von Eugenol auf die Pulpa des menschlichen Zahnes und auf das Periodontium des Hundes. Diss. Basel (1930)

STEIN, F. Einführung in die Allgemeine Pathologie. Berlinische Verlagsanstalt GmbH, Berlin (1966)

SVEJDA, J.
MELKOVA, V. Die Ultrastruktur der kalzifizierten Barriere nach Verletzung des Zahnmarks. Cs. Stomat. 3, 187 (1968)

SVEJDA, J. Observations sur la structure de la pulp blessee experimentalment. Bull. internat. rech. sc. stomat. 1, 39 (1968)

SZABO, J. Über Ignipunktur in der Behandlung accidentell exponierter Pulpen. Öst.-Ung. Vjschr. Zahnheilk. 18, 368 (1902)

TSCHAMER, H. Eine Zusammenfassung über den Stand der Vitalerhaltung entzündlich erkrankter Pulpen. Zahnärztl. Welt 20, 753 (1967)

TRIADAN, H. Histologische Untersuchungen über die Wirkung einiger potentieller direkter Überkappungsmittel auf die Affenzahnpulpa. Schweiz. Mschr. Zahnheilk. 80, 716 (1970)

WAECHTER, R. Die Vitalerhaltung der Pulpa. Öst. Z. Stomat. 61, 213 (1964)

WEIDMANN, S. M. Mechanism of Calcification: Biochemical Aspects. Archives of Oral Biology Pergamon Press Ltd. 79 (1963)

WITZEL, A. Compendium der Pathologie der Pulpakrankheiten des Zahnes. Hagen i. W. (1886)

Herrn Prof. Dr. Hans Lenz möchte ich an dieser Stelle recht herzlich für die freundliche Überlassung des Dissertationsthemas und Unterstützung bei der Durchführung dieser Arbeit danken. Seiner ständigen Bereitschaft zur Diskussion entstammen viele wertvolle Anregungen.

Desgleichen fühle ich mich auch Frau Helga Adam zu Dank verpflichtet, die mich in großer Hilfsbereitschaft mit den technischen Problemen der Elektronenmikroskopie vertraut machte und die photographischen Arbeiten durchführte.

L E B E N S L A U F

Am 1. Oktober 1945 wurde ich, Bernd Peter Wylutzki, als Sohn des Uhrmachers Fritz Wylutzki und seiner Ehefrau, der Zahnärztin Käte Wylutzki, geb. Oppermann, in Verden geboren.

Im Anschluß an die Volksschulzeit besuchte ich ab 1957 das Domgymnasium in Verden und legte dort 1966 die Reifeprüfung ab.

Zum Wintersemester 1966 wurde ich an der Freien Universität Berlin zum Studium der Zahnmedizin immatrikuliert und erhielt im August 1972 die Bestallung als Zahnarzt.

Ab Oktober 1972 übernahm ich Vertretungen in freien Zahnarztpraxen. Seit Januar 1973 bin ich als Wissenschaftlicher Assistent in der Abteilung für Zahnärztliche Chirurgie des Fachbereichs für Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten an der Freien Universität Berlin tätig.